DOCTORAT DE 3e CYCLE
N° D'ORDRE

UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE ET MÉDICALE
DE GRENOBLE

# CONTRIBUTIONS A L'ETUDE MICROPALEONTOLOGIQUE ET GEOCHIMIQUE DU TERTIAIRE DU SYNCLINAL D'ANNOT

## (Alpes-de-Haute-Provence)

---

## THÈSE

présentée

à l'Université Scientifique et Médicale de GRENOBLE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE 3e CYCLE
SPECIALITÉ : SCIENCES DE LA TERRE
MENTION : GÉOLOGIE APPLIQUÉE

par

Liliane BESSON

Soutenue publiquement le 29 Juin 1973
devant la commission d'Examen

| | | | |
|---|---|---|---|
| MM. | R. | BARBIER | Président |
| | J. | DEBELMAS | Examinateur |
| | H. J. | OERTLI | Examinateur |
| | J. L. | PAIRIS | Examinateur |

DOCTORAT DE 3e CYCLE

N° D'ORDRE

UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE ET MÉDICALE
DE GRENOBLE

# CONTRIBUTIONS A L'ETUDE MICROPALEONTOLOGIQUE ET GEOCHIMIQUE DU TERTIAIRE DU SYNCLINAL D'ANNOT

## (Alpes-de-Haute-Provence)

---

## THÈSE

présentée

à l'Université Scientifique et Médicale de GRENOBLE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE 3e CYCLE

SPECIALITÉ : SCIENCES DE LA TERRE

MENTION : GÉOLOGIE APPLIQUÉE

par

Liliane BESSON

Soutenue publiquement le 29 Juin 1973
devant la commission d'Examen

| | | | |
|---|---|---|---|
| MM. | R. | BARBIER | Président |
| | J. | DEBELMAS | Examinateur |
| | H. J. | OERTLI | Examinateur |
| | J. L. | PAIRIS | Examinateur |

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

A mon mari, à mon fils.

A mes parents et beaux-parents dont l'aide indirecte mais efficace m'a procuré un véritable soutien tout au long de ce travail.

# AVANT-PROPOS

Il m'est agréable, au début de cet exposé, d'adresser mes remerciements à :

Monsieur le Professeur R. BARBIER qui a bien voulu accepter la présidence du jury.
Monsieur le Professeur J. DEBELMAS qui a bien voulu me compter parmi ses élèves.
Monsieur J.L. PAIRIS qui a eu la patience de diriger mes premiers pas en micropaléontologie et dont les conseils de chaque instant me furent toujours très précieux.

Je remercie Monsieur J. GIRAULT et Madame A. ARNAUD-VANNEAU pour leurs conseils relatifs aux microfaciès des niveaux repsectivement gréseux et calcaires, ainsi que Monsieur G. VIVIER pour les analyses et les déterminations des minéraux lourds dans les niveaux marneux.

Tous mes remerciements vont également à Monsieur D. ARNAUD qui a effectué un certain nombre de lavages des sédiments marneux, à Madame A. TELMAT à qui revient la frappe du manuscrit et à Monsieur R. CHABERT qui en a assuré l'impression.

Si cette étude arrive à son terme aujourd'hui, c'est aussi grâce à la Société Nationale des Pétroles d'Aquitaine de Pau dont l'aide s'est manifestée tant du point de vue du traitement des échantillons que des déterminations et des interprétations. Qu'il me soit permis d'exprimer ma gratitude en particulier à :

Monsieur H.J. OERTLI qui m'a acceptée comme stagiaire à la S.N.P.A. et à qui je dois la détermination des Ostracodes.
Madame J. AUBERT qui m'a apporté une aide quant à l'étude des Foraminifères.
Messieurs B. PORTHAULT et Ph. ARTRU à qui je dois les résultats géochimiques de ma thèse.
Monsieur F. DERES, spécialiste du Nannoplancton, qui a bien voulu étudier 110 échantillons pour cette seule coupe.
Messieurs C. BOULOUARD et P. PENIGUEL, je leur dois en effet les déterminations palyno-planctologiques.
Messieurs G. ESPINOSA, I. PASSINI, photographes.
Monsieur D. FOURNIE pour ses conseils en microfaciès.

Je remercie enfin cette Société d'avoir bien voulu autoriser la publication de tous les résultats obtenus.

Je tiens également à remercier les spécialistes, enseignants à la Faculté des Sciences de Paris.

Monsieur A. BLONDEAU qui a bien voulu se charger de la détermination des Nummulites.
Madame S. BARTA-CALMUS à qui je dois la détermination des Coelentérés.
Madame M. NEUMAN pour sa proposition d'âge à la suite de l'examen global des Discocyclines.

Je n'ai garde d'oublier de remercier Monsieur le Professeur P. BRONNIMANN, enseignant à la Faculté des Sciences de Genève, pour ses conseils sur la microfaune planctonique, au cours de l'entrevue qu'il a bien voulu m'accorder.

TABLE DES MATIERES


Pages

INTRODUCTION ..... 1

LOCALISATION GEOGRAPHIQUE ..... 3

CHAPITRE I : ETUDE GEOLOGIQUE

I. - CONTEXTE GEOLOGIQUE ..... 7
A. - LE QUATERNAIRE ..... 9
B. - LA FRACTURATION ..... 9
C. - LA SCHISTOSITE ..... 9
D. - LES PENDAGES ET LES AZIMUTHS ..... 9

II. - ETUDE LITHOLOGIQUE ..... 12
A. - LES FORMATIONS SOUS-JACENTES ..... 12
1) Le Crétacé supérieur ..... 12
2) La formation d'Argens ..... 12
3) Les Calcaires nummulitiques ..... 12

B. - LES FORMATIONS DE LA COUPE DU RUCH ..... 12
1) Les Calcaires intermédiaires ..... 12
2) Les Marnes bleues ..... 13
a) différenciations calcaires ..... 13
b) différenciations sableuses ..... 15

C. - LA FORMATION DES GRES D'ANNOT ..... 15

III. - PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS ..... 15
A. - ECHANTILLONNAGE EN CONTINU ..... 15
B. - ECHANTILLONNAGE PONCTUEL ..... 15

CHAPITRE II : ANALYSE DU CONTEXTE SEDIMENTAIRE

I. GEOCHIMIE

A. - ANALYSES MINERALOGIQUES ..... 19
1) Principaux constituants minéraux ..... 19
a) manipulation ..... 19
b) résultats ..... 19
2) Minéraux argileux ..... 19
a) manipulation ..... 21
b) résultats ..... 21

Pages

B. - ANALYSES DE CHIMIE MINERALE ..... 22
1) Méthode ..... 22
2) Application à la coupe du Ruch ..... 23
a) le bore ..... 23
b) les autres éléments ..... 26

C. - ANALYSES DE CHIMIE ORGANIQUE ..... 27
1) Dosage du carbone organique ..... 27
2) Carbon-ratio ..... 29
a) manipulation ..... 29
b) résultats ..... 29

D. - CONCLUSION ..... 30

## II. LES MINERAUX LOURDS ET MAGNETIQUES

A. - METHODE DE SEPARATION ET RESULTATS ..... 31

B. - METHODE PAR DIFFRACTION X ET RESULTATS ..... 32
1) Manipulation ..... 32
2) Construction graphique ..... 32
3) Discussion ..... 34

C. - CONCLUSION ..... 34

## III. - MICROFACIES

A. - NIVEAUX CALCAIRES INDURES ..... 35
1) Observations ..... 35
a) éléments minéraux ..... 35
b) faune ..... 35
2) En résumé ..... 36

B. - NIVEAUX GRESEUX ..... 36
1) Observations ..... 36
a) le membre rubané ..... 36
b) le banc massif ..... 36
2) En résumé ..... 37

C. - CONCLUSION ..... 37

# CHAPITRE III : ETUDE MICROPALEONTOLOGIQUE

## I. - FORAMINIFERES

I. - METHODES DE LABORATOIRE ..... 41
1) Préparation des échantillons ..... 41
2) Observation ..... 42

Pages

II. - ETUDE STRATIGRAPHIQUE ..... 42
A. - GRANDS FORAMINIFERES BENTHIQUES ..... 42
1) Discussion ..... 43
a) Zonation classique reconnue ..... 43
b) Zonation de la coupe du Ruch ..... 43
2) Conclusion ..... 45

B. - FORAMINIFERES PLANCTONIQUES ..... 45
1) Remarques de systématique ..... 45
2) Systèmes de biozonation ..... 46
a) Définition des zones de H. BOLLI (1972) ..... 46
b) $\alpha$. Répartition de Globigerinatheka ..... 52
$\beta$. Zonation de M. TOUMARKINE et H. BOLLI (1970) ..... 53
c) Zonation de W. BLOW (1969) ..... 54
d) Discussion des limites du Priabonien ..... 57
$\alpha$ - Limite Lutétien-Priabonien ..... 57
$\beta$ - Limite Priabonien - Eocène ..... 57
3) Application à la coupe du Ruch ..... 57
4) Conclusion ..... 60

C. - CONFRONTATION DU PLANCTON AVEC LES NUMMULITES ET CONCLUSION ..... 60

III. - ETUDE STATISTIQUE ..... 61
A. - GENERALITES ..... 61
1) Choix du lot destiné au comptage ..... 61
a) Par passage au microsplitter ..... 61
b) Par prise à la spatule ..... 61
2) Classement des tests de Foraminifères pour les comptages ..... 61
3) Calculs et représentations graphiques ..... 62
a - nombre total de Foraminifères par kg de sédiment sec non lavé ..... 63
b - rapport B/P ..... 63
c - diversité faunistique ..... 64
d - dominance ..... 65
e - fréquence relative des 11 groupes de Foraminifères ..... 65
f - score des Foraminifères ..... 65
4) Valeur et fiabilité des critères utilisés en paléoécologie ..... 66

B. - APPLICATION A LA COUPE DU RUCH

* Premier lot de paramètres ..... 67

1) les faits ..... 67
2) interprétation ..... 72

* Second lot de paramètres ..... 75

1) les faits ..... 77
a) les grands Foraminifères benthiques ..... 77
b) les petits Foraminifères benthiques ..... 77
les Nodosariidae ..... 77
les Anomalinidae s.l. ..... 77
les Buliminacea ..... 77
les Miliolidae ..... 84
le groupe 10 ..... 84
les Agglutinés ..... 84
c) les Foraminifères planctoniques ..... 84
2) interprétation ..... 85

Pages

## II. - OSTRACODES


I. - ETUDE STRATIGRAPHIQUE ..... 87
II. - ETUDE ECOLOGIQUE ..... 89
III. - CONCLUSION ..... 89


## III. - LE NANNOPLANCTON


I. - PREPARATION ..... 90
II. - RESULTATS ..... 90
A. - FORMES REMANIEES ..... 90
1) Répartition ..... 90
2) Fréquence ..... 92

B. - FORMES TERTIAIRES ..... 92
1) Répartition ..... 92
2) Fréquence ..... 93

III. - CONCLUSION ..... 93


## IV. - PALYNO-PLANCTOLOGIE


I. - PREPARATION ..... 94
II. - RESULTATS ..... 94
A. - ELEMENTS ORGANIQUES FIGURES ..... 94
B. - POLLENS et SPORES ..... 96
1) Fréquence ..... 96
2) Répartition ..... 96
3) Formes remaniées ..... 99

C. - DINOPHYCEES ..... 99
1) Fréquence ..... 99
2) Répartition ..... 99
3) Formes remaniées ..... 99

III. - INTERPRETATIONS ..... 99
A. - EVOLUTION DES CONDITIONS DE DEPOTS ..... 99
B. - VARIATION CLIMATIQUE ..... 100
C. - ATTRIBUTIONS STRATIGRAPHIQUES ..... 100

IV. - CONCLUSION ..... 100

Pages

## II. - OSTRACODES


I. - ETUDE STRATIGRAPHIQUE ..... 87
II. - ETUDE ECOLOGIQUE ..... 89
III. - CONCLUSION ..... 89


## III. - LE NANNOPLANCTON


I. - PREPARATION ..... 90
II. - RESULTATS ..... 90
A. - FORMES REMANIEES ..... 90
1) Répartition ..... 90
2) Fréquence ..... 92

B. - FORMES TERTIAIRES ..... 92
1) Répartition ..... 92
2) Fréquence ..... 93

III. - CONCLUSION ..... 93


## IV. - PALYNO-PLANCTOLOGIE


I. - PREPARATION ..... 94
II. - RESULTATS ..... 94
A. - ELEMENTS ORGANIQUES FIGURES ..... 94
B. - POLLENS et SPORES ..... 96
1) Fréquence ..... 96
2) Répartition ..... 96
3) Formes remaniées ..... 99

C. - DINOPHYCEES ..... 99
1) Fréquence ..... 99
2) Répartition ..... 99
3) Formes remaniées ..... 99

III. - INTERPRETATIONS ..... 99
A. - EVOLUTION DES CONDITIONS DE DEPOTS ..... 99
B. - VARIATION CLIMATIQUE ..... 100
C. - ATTRIBUTIONS STRATIGRAPHIQUES ..... 100

IV. - CONCLUSION ..... 100

Pages


II. - ETUDE STRATIGRAPHIQUE ..... 42
A. - GRANDS FORAMINIFERES BENTHIQUES ..... 42
1) Discussion ..... 43
a) Zonation classique reconnue ..... 43
b) Zonation de la coupe du Ruch ..... 43
2) Conclusion ..... 45

B. - FORAMINIFERES PLANCTONIQUES ..... 45
1) Remarques de systématique ..... 45
2) Systèmes de biozonation ..... 46
a) Définition des zones de H. BOLLI (1972) ..... 46
b) $\alpha$. Répartition de Globigerinatheka ..... 52
$\beta$. Zonation de M. TOUMARKINE et H. BOLLI (1970) ..... 53
c) Zonation de W. BLOW (1969) ..... 54
d) Discussion des limites du Priabonien ..... 57
$\alpha$ - Limite Lutétien-Priabonien ..... 57
$\beta$ - Limite Priabonien - Eocène ..... 57
3) Application à la coupe du Ruch ..... 57
4) Conclusion ..... 60

C. - CONFRONTATION DU PLANCTON AVEC LES NUMMULITES ET CONCLUSION ..... 60

III. - ETUDE STATISTIQUE ..... 61
A. - GENERALITES ..... 61
1) Choix du lot destiné au comptage ..... 61
a) Par passage au microsplitter ..... 61
b) Par prise à la spatule ..... 61
2) Classement des tests de Foraminifères pour les comptages ..... 61
3) Calculs et représentations graphiques ..... 62
a - nombre total de Foraminifères par kg de sédiment sec non lavé ..... 63
b - rapport B/P ..... 63
c - diversité faunistique ..... 64
d - dominance ..... 65
e - fréquence relative des 11 groupes de Foraminifères ..... 65
f - score des Foraminifères ..... 65
4) Valeur et fiabilité des critères utilisés en paléoécologie ..... 66

B. - APPLICATION A LA COUPE DU RUCH

* Premier lot de paramètres ..... 67

1) les faits ..... 67
2) interprétation ..... 72

* Second lot de paramètres ..... 75

1) les faits ..... 77
a) les grands Foraminifères benthiques ..... 77
b) les petits Foraminifères benthiques ..... 77
les Nodosariidae ..... 77
les Anomalinidae s.l. ..... 77
les Buliminacea ..... 77
les Miliolidae ..... 84
le groupe 10 ..... 84
les Agglutinés ..... 84
c) les Foraminifères planctoniques ..... 84
2) interprétation ..... 85

Pages

## CHAPITRE IV : CONCLUSION GENERALE


I. - RESULTATS STRATIGRAPHIQUES ..... 103
II. - RESULTATS D'ORDRE PALEOECOLOGIQUE ..... 104

I. LES RUPTURES ..... 105
II. EVOLUTION DU NIVEAU DE SEDIMENTATION ..... 105
a) dans les Calcaires intermédiaires et dans la base des Marnes bleues jusqu'à la cote +118 environ ..... 105
b) dans les Marnes bleues de la cote +118 à la cote +212 environ ..... 107
c) dans les niveaux terminaux des Marnes bleues et dans les Grès d'Annot . 107

III. RESUME ..... 108

BIBLIOGRAPHIE ..... 109

## LISTE DES PLANCHES


| n° des planches | | Pages |
|---|---|---|
| 1 | - Localisation du secteur d'étude | 2 |
| 2 | - Géologie régionale du secteur - Schéma tectonique général | 6 |
| 3 | - Synclinal tertiaire d'Annot | 8 |
| 4 | - Contexte géologique | 10 |
| 5 | - et tracé de la coupe | 11 |
| 6 | - Colonne stratigraphique des niveaux étudiés | 14 |
| 7 | - Minéralogie de la coupe du Ruch et matière organique | 20 |
| 8 | - Répartition des teneurs en éléments-traces | 24 |
| 9 | - Répartition des teneurs en éléments majeurs | 25 |
| 10 | - Evolution des différents facteurs géochimiques | 28 |
| 11 | - Variations quantitatives des principaux minéraux | 33 |
| 12 | - Répartition des Nummulites et de Chapmanina | 44 |
| 13 | - Répartition des Foraminifères planctoniques | 47 |
| 14 | - Principales espèces planctoniques | 48 |
| 15 | - " " " | 51 |
| 16 | - Répartition des marqueurs planctoniques et zonation de la coupe | 57 bis |
| 17 | - Comparaison des courbes F/kg et B/P | 68 |
| 18 | - Courbes N/kg du benthos et du plancton | 69 |
| 19 | - Interprétation schématique de l'évolution de la position de la coupe par rapport à la ligne de rivage | 71 |
| 20 | - Diversité faunistique et comparaison avec la dominance faunistique | 73 |
| 21 | - Fréquences relatives cumulées des Foraminifères | 76 |
| 22 | - Score des grands Foraminifères | 78 |
| 23 | - Score des Nodosariidae | 79 |
| 24 | - Score des Anomalinidae s.l. | 80 |
| 25 | - Score des Buliminacea | 81 |
| 26 | - Score des Agglutinés | 82 |
| 27 | - Score du benthos et du plancton | 83 |
| 28 | - Répartition des Ostracodes | 88 |
| 29 | - Répartition du Nannoplancton calcaire | 91 |
| 30 | - Répartition de la matière organique figurée | 95 |
| 31 | - Répartition des spores et des pollens | 97 |
| 32 | - Répartition des Dinophycées | 98 |
| 33 | - Récapitulation des principaux résultats stratigraphiques et paléoécologiques | 106 |


## LISTE DES PLANCHES HORS TEXTE


Planches photographiques I à XVIII - Foraminifères, Ostracodes et macrofaune naine
Planches " XIX et XX - Nannoplancton calcaire
Planche photographique XXI - Spores et pollens
Planche photographique XXII - Dinophycées

# INTRODUCTION

Après le travail de J. BOUSSAC[49] sur le Nummulitique alpin, des études systématiques ont été entreprises sur le Tertiaire des Alpes-de-Haute-Provence par les auteurs modernes. Une première nomenclature des associations de microfaunes renfermées dans ces niveaux a pu être ainsi établie dès 1952[86]. Après de nombreux travaux effectués dans ce secteur par les élèves de l'Institut Français du Pétrole, une première microstratigraphie des Marnes bleues[77], était donnée dès 1961.

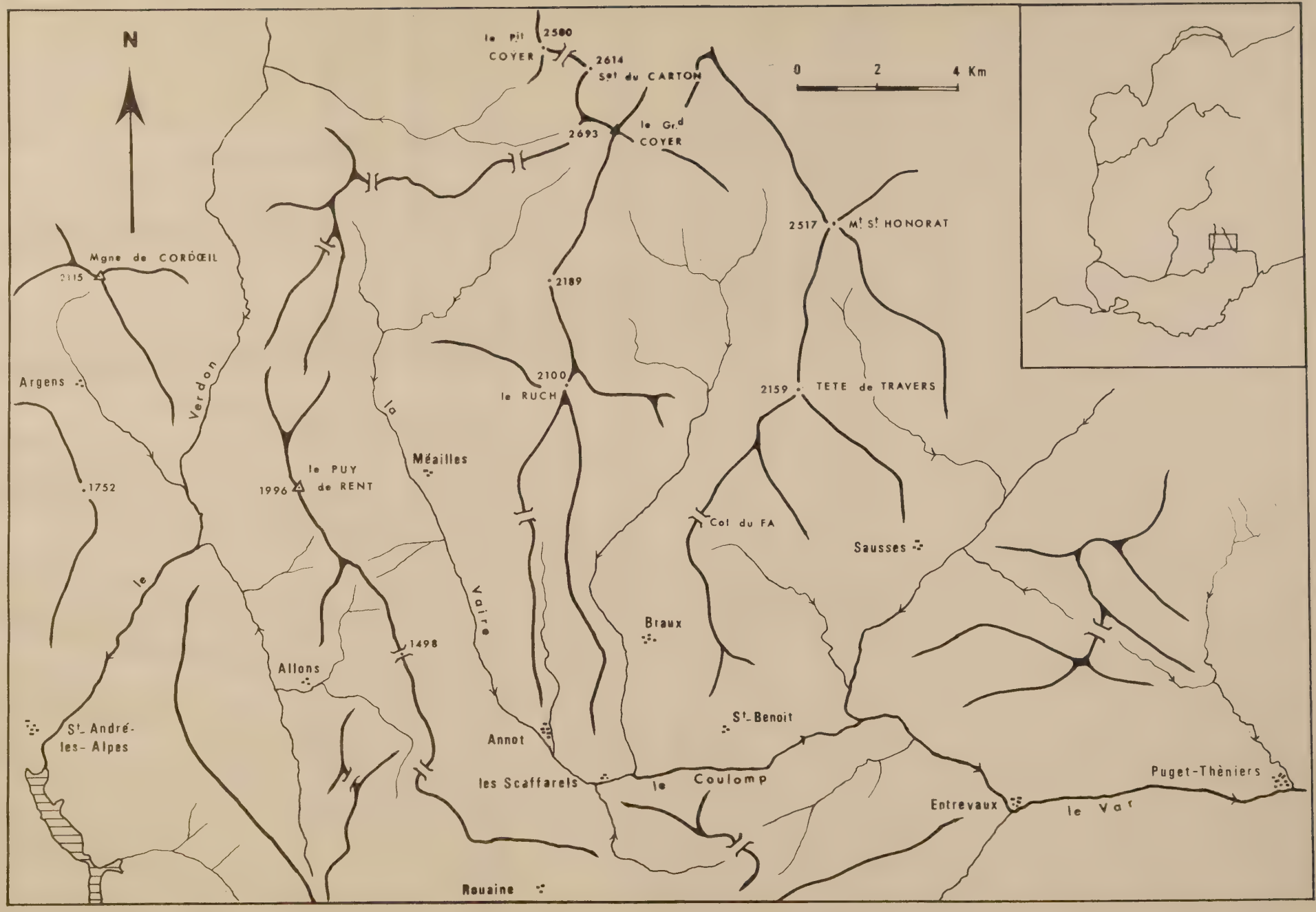
Plus récemment le colloque sur l'Eocène de Paris en 1968[33-34] et les études préliminaires le concernant[40], puis le colloque de Budapest en 1969[39] enfin les thèses de J. BODELLE[38] et de R. CAMPREDON[52] avec les déterminations de Mesdames Y. LE CALVEZ et M. NEUMAN, de Mademoiselle M. TOUMARKINE, de Messieurs A. BLONDEAU, L. LEZAUD et J.J. CHATEAUNEUF ont apporté de nouvelles précisions micropaléontologiques sur le Nummulitique de cette région.

Nos travaux, menés dans le cadre des activités de l'équipe de micropaléontologie de Grenoble, nous ont permis :

- tout d'abord de différencier, dans le synclinal d'Annot, deux aires de sédimentation dans lesquelles se déposaient les Marnes bleues[28],
- puis de dater, au Nord de cette structure, l'arrivée des grès d'Annot[27].
- enfin d'analyser en détail l'environnement géochimique des différentes assises tertiaires[29].

L'étude présente s'intéresse à une seule coupe ; nous avons cependant utilisé pour ce travail, le maximum des techniques mises à notre disposition ; ceci nous a permis d'atteindre, par des voies différentes, soit des résultats identiques, soit des précisions complémentaires. Toutes ces analyses ont eu pour but :

- de placer le plus exactement possible les couches étudiées dans le cadre de la zonation stratigraphique classique du Tertiaire, selon les différentes échelles de référence basées sur l'extension verticale de micro-organismes-marqueurs (planctoniques) ;
- après avoir confronté les résultats isolés obtenus par les différentes techniques (géochimie, étude statistique des Foraminifères, etc.), de tenter une reconstitution paléoécologique du secteur nord du bassin d'Annot au moment du dépôt de ses sédiments d'une part, et d'autre part de tenter une reconstitution paléoclimatologique du secteur continental voisin de l'Eocène supérieur.




Pl. 1 Localisation du secteur d'étude

## LOCALISATION GEOGRAPHIQUE

La localisation géographique de la coupe étudiée est donnée par la planche 1. Le secteur dans lequel elle se situe, est placé dans la partie sud-orientale du département des Alpes-de-Haute-Provence, à l'extrémité sud de la crête allant du Grand-Coyer au Ruch qui sépare les vallées de la Vaire à l'Ouest et du Coulomp à l'Est. Cette coupe a été implantée à neuf kilomètres environ à vol d'oiseau au Nord d'Annot et à 900 mètres à l'Ouest-Nord-Ouest du sommet du Ruch : nous l'avons appelée la coupe du Ruch.

# CHAPITRE I : ETUDE GEOLOGIQUE

I. - CONTEXTE GEOLOGIQUE

A. - LE QUATERNAIRE
B. - LA FRACTURATION
C. - LA SCHISTOSITE
D. - LES PENDAGES ET LES AZIMUTHS

II. - ETUDE LITHOLOGIQUE

A. - LES FORMATIONS SOUS-JACENTES

1) - Le Crétacé supérieur
2) - La formation d'Argens
3) - Les Calcaires nummulitiques

B. - LES FORMATIONS DE LA COUPE DU RUCH

1) - Les Calcaires intermédiaires
2) - Les Marnes bleues
- différenciations calcaires
- différenciations sableuses

C. - LA FORMATION DES GRES D'ANNOT

III. - PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS

A. - ECHANTILLONNAGE EN CONTINU

B. - ECHANTILLONNAGE PONCTUEL

PI. 2

pl. 2 - Géologie régionale du secteur étudié - Schéma tectonique régional

1. - Bassins molassiques
2. - Massifs subalpins et couverture orientale des massifs cristallins
3. - Socle hercynien
4. - Emplacement du synclinal d'Annot
5. - Plans de chevauchement
6. - Failles principales

## I. - CONTEXTE GEOLOGIQUE

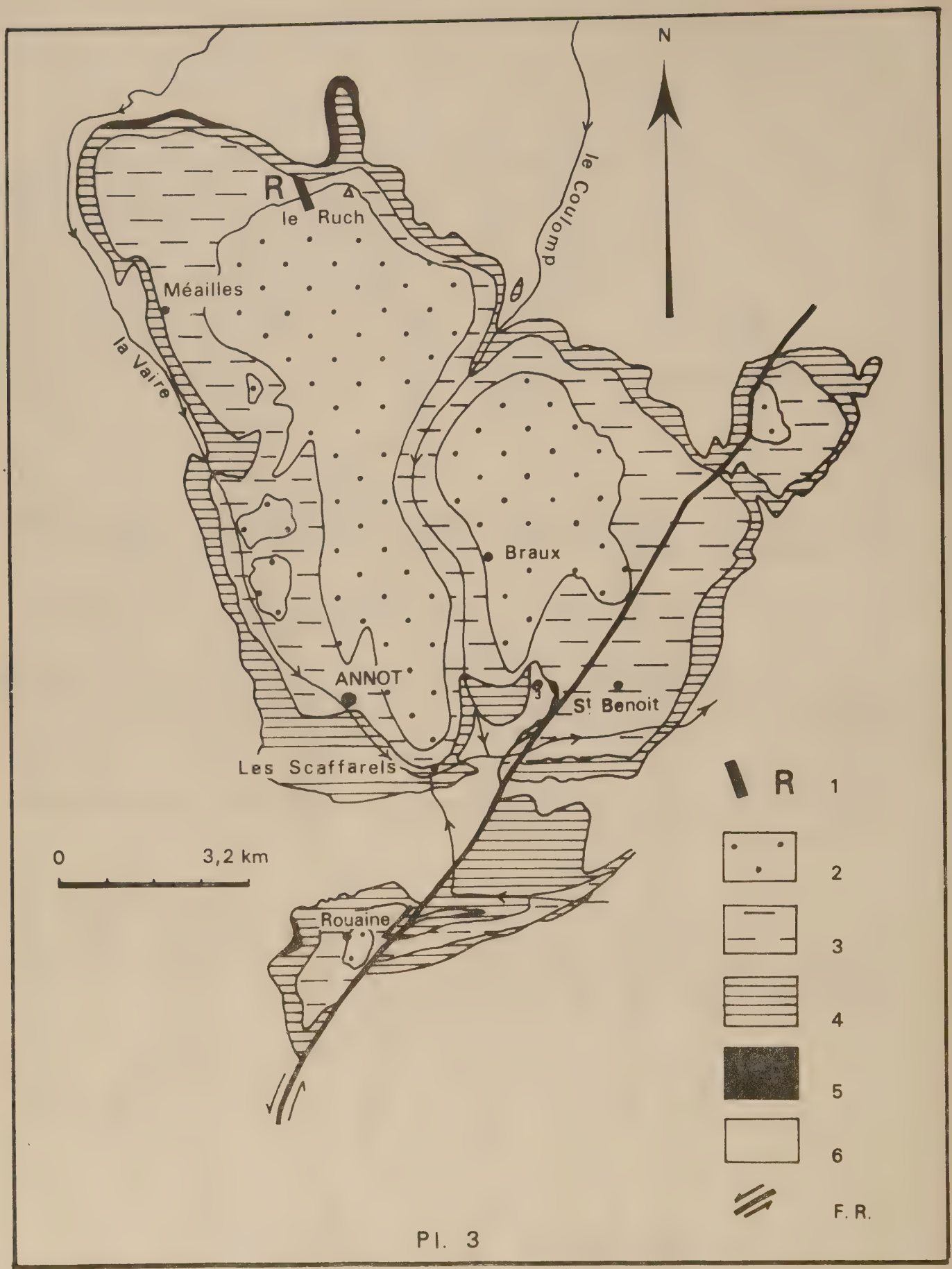
Le synclinal tertiaire d'Annot se place dans le domaine externe des Alpes du Sud, à l'intérieur de la virgation de l'arc de Castellane (Pl. 2). Il est tronçonné dans sa partie sud-est par un grand décrochement appartenant au faisceau de fractures du Var (Pl. 2 et 3).

Le Tertiaire est représenté ici par la classique trilogie de calcaires, de marnes et de grès de ce domaine externe, trilogie qui jusqu'à une date très récente, était entièrement attribuée au Priabonien dans ce bassin.

Les Calcaires nummulitiques sont transgressifs, le plus souvent directement sur le Crétacé supérieur érodé d'âge Santonien au Nord du parallèle de Braux, Sénonien indifférencié aux Scaffarels, Campanien à Braux même [74-123]. Toutefois, dans certains cas, cette transgression peut s'effectuer, soit par l'intermédiaire d'une formation détritique bréchique - c'est le cas du secteur étudié en contrebas de la paléofalaise de St-Benoît [122-123] -, soit sur un ensemble marno-conglomératique attribuable à la formation d'Argens, que l'on rencontre aux grottes de Méailles et surtout au Nord du Ruch.

C'est au Nord de la structure, aux environs du sommet du Ruch, où les connaissances micropaléontologiques manquaient encore, que nous avons choisi d'implanter notre coupe.

Les Calcaires nummulitiques, avec leur semelle discontinue de formation d'Argens, constituent la crête se dirigeant vers le Grand-Coyer ; leurs affleurements sont continus jusqu'au col de la Mort de l'Homme (Pl. 4). Les Calcaires intermédiaires forment une carapace sur ces Calcaires nummulitiques. Les Grès d'Annot qui affleurent plutôt dans la partie méridionale du secteur étudié dessinent une cuesta est-ouest de 1 800 mètres à 2 000 mètres d'altitude. Quant aux Marnes bleues, elles forment la base de cette cuesta de grès.




Pl. 3

pl. 3 - Synclinal tertiaire d'Annot

1. - Coupe du Ruch
2. - Grès d'Annot
3. - Marnes bleues et calcaires intermédiaires
4. - Calcaire nummulitique
5. - Formation infra-nummulitique
6. - Crétacé supérieur

F.R. Faille de Rouaine

## A. - LE QUATERNAIRE

Le Nord de la structure, d'altitude élevée, est le siège d'une érosion active. Le Quaternaire y est représenté par des langues glissées dans les terrains marneux, et par des cônes d'éboulis provenant de la falaise de grès sus-jacente. Ces cônes peuvent s'étaler en nappes sur les parties glissées.

Ce recouvrement quaternaire important a rendu le choix d'un secteur de coupe assez délicat car il fallait tenir compte également de la fracturation parfois non négligeable qui restreignait encore les possibilités du choix parmi les affleurements existants.

Néanmoins nous avons pu trouver dans l'entaille abrupte de l'entonnoir de réception du torrent du Ruch (1), une coupe qui offre toutes les garanties souhaitables en vue d'une étude micropaléontologique : affleurements continus de la base au sommet de la tranche de terrain examinée, fracturation et repli négligeables.

## B. - LA FRACTURATION

Elle comprend :

1) - des diaclases verticales ou subverticales qui s'organisent en deux familles dont les directions sont voisines de N 10° E d'une part et N 50° E d'autre part ;

2) - des failles

Elles sont assez nombreuses mais dans l'ensemble peu importantes. Nous noterons en particulier :

- la faille $F_1$ à l'Ouest de la coupe, de direction N 40° E environ dans les marnes, pentée de 60° vers le Sud-Est, qui tourne pour prendre la direction N 10° E plus au Nord dans les Calcaires nummulitiques ; elle présente un rejet vertical apparent de 30 mètres environ ;
- plus à l'Est, la faille $F_2$ verticale, de direction N 10° E, à rejet vertical apparent de 10 mètres environ, conjuguée à un plan de fracture penté vers le Sud-Est, ondulé, de direction moyenne N 10° E.

## C. - LA SCHISTOSITE

Les plans apparents de schistosité sont verticaux ou présentent des pendages de 85° vers l'Est ; leurs directions sont respectivement N 130° E et Nord-Sud, ce qui entraîne le classique découpage en dièdres des niveaux durs.

## D. - LES PENDAGES ET LES AZIMUTHS

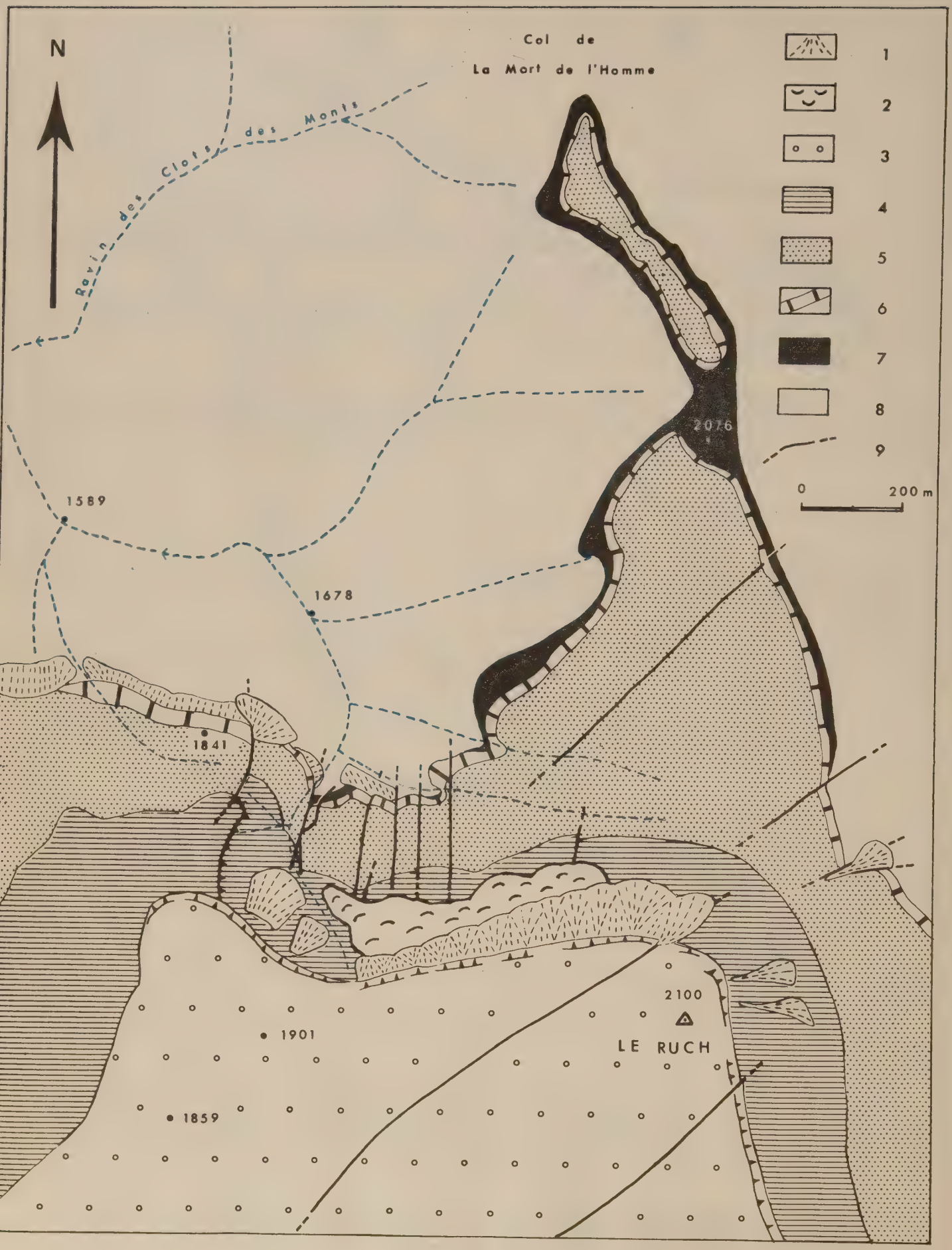
Les Calcaires nummulitiques (et la formation d'Argens sous-jacente), pentés de 25° vers le Sud-Ouest reposent en discordance sur le Santonien penté de 25° vers le Nord-Ouest.

Les pendages des couches, relevés le long de la coupe, ne varient pas de la base au sommet ; par contre, les directions, d'abord N 160° E dans le tiers inférieur, passent au-dessus à des valeurs N 130° E qu'elles conservent jusque dans les grès terminaux.

Ces mesures ont été relevées sur la rive gauche du torrent longeant la coupe mais elles varient quelque peu à l'Est et à l'Ouest de ce repère. Cette variation d'azimuth traduit simplement l'existence d'un léger repli à valeur synclinale qui n'est peut-être que la trace d'un crochonnement dessiné par les couches entre les failles $F_1$ et $F_2$ (Pl. 5). La variation des pendages et des directions aux environs du tracé de la coupe est donnée sur la planche 5 pour les Calcaires intermédiaires.

---

(1) - Pour des raisons de commodité, nous avons baptisé "torrent du Ruch", le torrent qui coule le long du tracé de la coupe sur le flanc nord du Ruch, mais qui n'est pas nommé sur la carte au 1/20 000.


N
Col de
La Mort de l'Homme
Ravin des Clots des Monts
2016
1589
1678
1841
1901
1859
2100
LE RUCH
1
2
3
4
5
6
7
8
9
0
200 m

PI. 4

Pl. 5

pl. 4 et 5 - Contexte géologique de la coupe

1. - Eboulis
2. - Marnes et éboulis glissés
3. - Grès d'Annot
4. - Marnes bleues
5. - Calcaires intermédiaires
6. - Calcaire nummulitique
7. - Formation infra-nummulitique
8. - Crétacé supérieur
9. - Fracturation
10. - Falaise
11. - Tracé de la coupe

## II. - ETUDE LITHOLOGIQUE

Le but essentiel de ce travail étant l'étude des Marnes bleues, nous décrirons très rapidement les formations qui l'encadrent.

### A. - LES FORMATIONS SOUS-JACENTES

1) - Le Crétacé supérieur

Des bancs de calcaire fin compact, épais de 0,50 m en moyenne alternent avec des bancs plus argileux dont l'épaisseur varie de 0,15 m à 0,20 m : l'ensemble offre ainsi, dans les grands entonnoirs de réception des torrents, l'aspect de gradins d'amphithéâtre antique.

2) - La formation d'Argens

Elle présente, au niveau de la coupe, des marnes et des calcarénites intercalées dans des bancs de poudingues d'épaisseur métrique, souvent lenticulaires. Cet ensemble atteint, au passage du torrent du Ruch, une épaisseur de 5 mètres environ ; il est plus développé vers le Nord-Est [123] mais, dans le synclinal d'Annot, il disparaît complètement au Sud du parallèle du Ruch.

La datation de ces niveaux est encore actuellement discutée. Ce problème ne sera pas abordé ici, car il fait pour nous l'objet d'une étude en cours ; nous parlerons simplement de la formation infra-nummulitique sans en différencier les niveaux ni en préciser l'âge.

3) - Les Calcaires nummulitiques

Ce sont des calcaires assez purs, de couleur gris moyen dans l'ensemble, sauf à la base où une couleur brune un peu verdâtre domine. Epais de 25 mètres environ, ils sont d'aspect plutôt massif à la base, sans joints argileux, le haut de la formation est constitué d'une alternance plus ou moins nette de calcaires francs et de niveaux calcaréo-argileux, qui fait transition avec les Calcaires intermédiaires sus-jacents ; cette partie haute comporte un niveau à boules indiquant un remaniement synsédimentaire (Pl. 12).

Les Calcaires nummulitiques sont riches en macrofaune (Lamellibranches, Gastéropodes, Echinodermes, Bryozoaires) et en microfaune (Nummulites, Operculines et surtout Discocyclines).

### B. - LES FORMATIONS DE LA COUPE DU RUCH

Nous avons placé la limite inférieure de la coupe à l'apparition d'un changement lithologique : en effet, nous avons pu différencier les Calcaires intermédiaires des Calcaires nummulitiques dès le niveau où les joints de calcaire argileux deviennent prépondérants, déterminant ainsi une morphologie plus douce. Cette limite arbitraire se situe à une dizaine de mètres environ au-dessus du sommet de la falaise des Calcaires nummulitiques massifs.

La coupe débute à la cote 1 805 (X = 946 645 ; Y = 203 300) et se termine à la cote 1 910 environ dans les Grès d'Annot (X = 946 515 ; Y = 203 070). Elle comprend les Calcaires intermédiaires et les Marnes bleues. Pour situer nos niveaux repères, nous placerons la cote zéro de la coupe à la base de notre formation des Calcaires intermédiaires.

1) - Les Calcaires intermédiaires

Ce sont des calcaires gris moyen en cassure, à patine beige-gris clair, en bancs épais de 0,80 m en moyenne, alternant avec des niveaux plus argileux et dans l'ensemble moins épais. La formation ne dépasse pas une trentaine de mètres d'épaisseur. Elle est monotone, nous noterons cependant l'existence de deux bancs calcaires, épais de 0,50 m environ, nettement plus durs que le reste de l'assise, aux cotes + 10 d'une part et + 27 d'autre part. Le détail de ces différents niveaux est donné par la planche 6.

Dans l'ensemble de la formation, les bancs durs ont tendance à s'amenuiser en direction du Sud-Est et passent alors, en une vingtaine de mètres, à des niveaux plus argileux.

La surface des bancs durs est légèrement mamelonnée. Cet aspect s'observe tout particulièrement sur le dernier banc bien dégagé en surface structurale (cote + 27). Mais nous n'avons pas pu nous prononcer ici en faveur d'un phénomène synsédimentaire, car l'érosion qui émousse les arêtes des dièdres de schistosité pourrait être aussi responsable de cette apparence mamelonnée.

Ces niveaux renferment une riche macrofaune dans laquelle on a relevé aux Scaffarels [38, 52] :

- des Lamellibranches :
  - Ostrea gigantica SOL
  - Glycymeris jacquoti TOUR
  - G. striatissimus BELL
  - Chlamys parvicostata BELL
  - C. multistriata BELL
  - Spondylus podopsideus LAMK
  - Lucina saxorum LAMK
  - Mytilus sp.

- des Gastéropodes
  - Rimella multiplicata BELL
  - Conus diversiformias DESH
  - Pirula helvetica MAYER
  - Turritella imbricataria LAMK

- des Cœlentérés, déterminés par Madame S. BARTA-CALMUS, in J. BODELLE et al. [39] :
  . aux Scaffarels :
  - Pattalophyllia cyclolitoïdes MICH
  - Leptomussa sp.
  - Antillia sp.
  - Trochosmilia sp.
  - Flabellum sp.

  . dans nos sédiments du Ruch :
  - Nicaeotrochus cyclotitoïdes
  - N. cyclolitoïdes gratuliensis BARTA-CALMUS
  - N. bilobata (MICHELIN)
  - Epipsammia alloiteaui BARTA-CALMUS

- des Echinodermes (O. de VILLOUTREYS, in J. BODELLE et al. [39]) :
  - Schizaster studeri AGASSIZ
  - Radioles de Porosoma sp.
  - Plaques de Schizaster sp.
  - Plaques de Stellerides (Goniaster sp.)
  - Crinoïdes : articles et calices de Conocrinus thorenti (D'ARCHIAC)
    : articles d'Isselicrinus didactylus d'ORBIGNY.

Les Calcaires intermédiaires renferment également une microfaune abondante de Nummulites, Operculines et Discocyclines. Certains niveaux particulièrement riches en Discocyclines, constituent parfois de véritables lumachelles.

2) - Les Marnes bleues

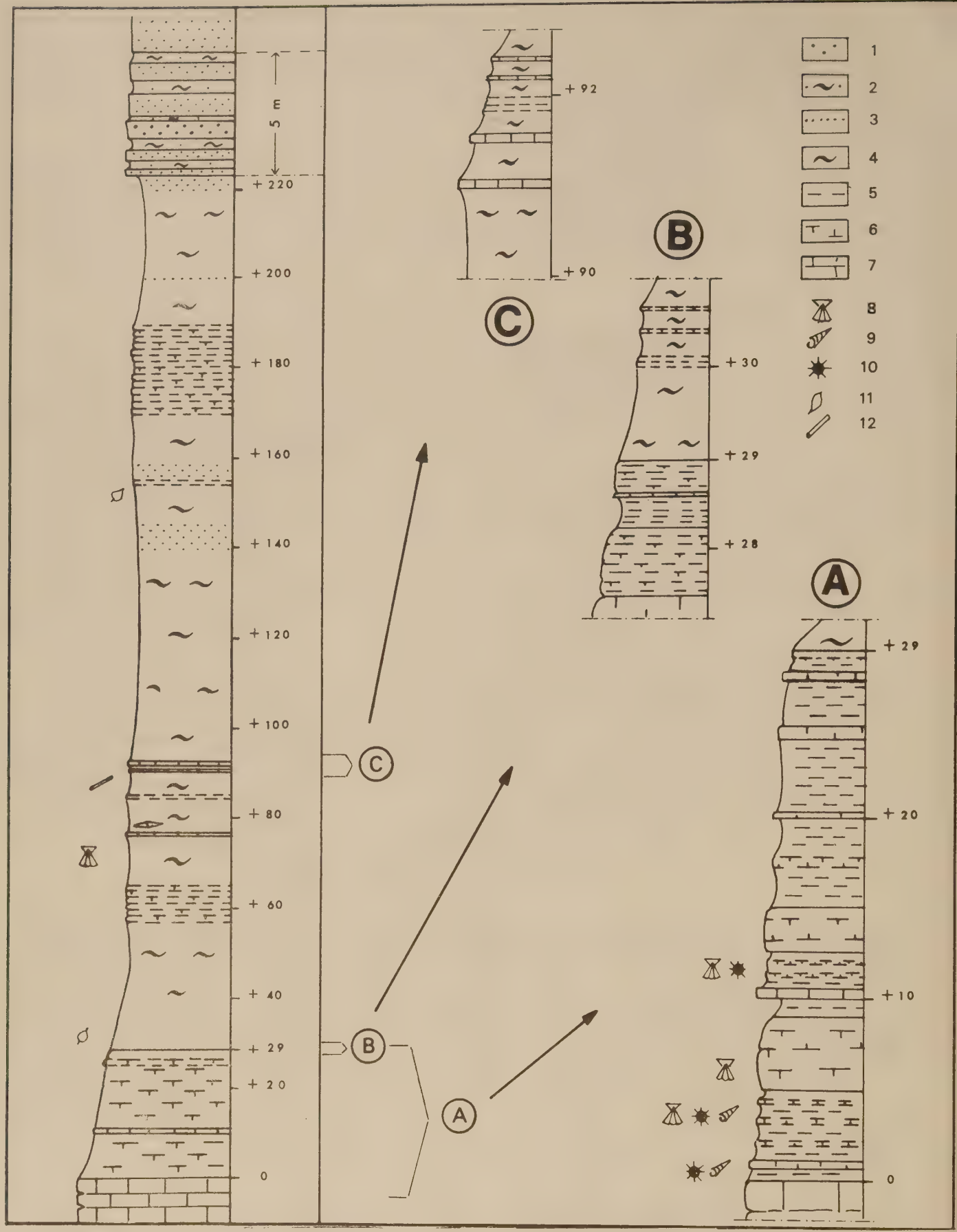
Elles atteignent une épaisseur de 195 m environ au niveau de la coupe. Elles sont gris bleuté en cassure fraîche. Lorsqu'elles sont sèches, elles prennent une couleur gris moyen très légèrement brune qui évoque fort bien l'aspect de la peau d'éléphant.

Elles renferment une macrofaune de taille normale, très pauvre, n'offrant que de rares Lamellibranches (Ostrea sp.) ; par contre on observe une macrofaune naine parfois assez abondante, constituée de moules internes pyritisés de Lamellibranches, de Gastéropodes et de quelques Brachiopodes. On y rencontre aussi quelques terriers de vers et des débris végétaux.

Cet ensemble marneux montre parfois des différenciations calcaires et/ou sableuses :

a) différenciations calcaires

- Entre les cotes + 92 et + 93, on note la présence de bancs de 5 cm à 10 cm d'épaisseur, à intercalaires marneux décimétriques. L'ensemble constitue un ressaut de un mètre environ dans la pente, au niveau de la coupe (rive gauche du torrent du Ruch). Ce niveau plus calcaire est annoncé dès la cote + 78 par quelques bancs très espacés et quelques lentilles isolées dans les marnes. Les niveaux calcaires s'amincissent très rapidement vers le Sud-Est pour disparaître complètement au passage du torrent.




1. - Grès
2. - Marnes gréseuses
3. - Niveaux sableux
4. - Marnes franches
5. - Calcaire très argileux
6. - Calcaire argileux
7. - Calcaire franc
8. - Lamellibres
9. - Gastéropodes
10. - Polypiers
11. - Débris végétaux
12. - Terriers

Pl. 6 - Colonne stratigraphique avec macrofaune et détails de trois niveaux

- Entre les cotes + 170 et + 190, il s'agit d'une alternance de petits bancs plus durs, d'épaisseur très variable (5 cm à 0,80 m) et de passées plus tendres (0,30 m à 1,50 m) apparaissant dans l'entonnoir de réception du torrent du Ruch dont les versants prennent un aspect rubané. Ces niveaux sont annoncés dans les quelques mètres sous-jacents, par l'apparition de fines passées mal individualisées, légèrement en relief et un peu plus riches en $CO_3Ca$. Cette alternance montre ici l'existence de rythmes sédimentaires dans les marnes.

A la base, où le rubanement est le mieux marqué, les teneurs en calcaire, comme nous pourrons le vérifier dans la planche 7, n'offrent que de faibles différences (5 à 8 %) entre les niveaux durs (56 à 58 % en moyenne) et les niveaux tendres (48 à 53 % en moyenne).

Latéralement vers l'Est, quand les conditions particulières d'affleurement qui régnent au niveau de cet entonnoir de réception disparaissent, les pentes deviennent tout à fait régulières : la rythmicité disparaît-elle vers l'Est ou bien les différents rythmes ne peuvent-ils plus s'individualiser les uns par rapport aux autres ?

L'érosion très active, dans les pentes raides de l'entonnoir de réception, met à nu la roche saine. Par contre, plus à l'Est, lorsque la pente diminue, la pellicule d'altération qui reste en place sur la roche peut masquer complètement ces éventuelles différenciations lithologiques, de sorte que ce problème reste posé.

b) différenciations sableuses

- Entre les cotes + 140 et + 145
  + 155 et + 160
  + 170 et + 175

les marnes se chargent d'éléments détritiques sableux.

- Enfin, dès la cote + 220, ces éléments s'individualisent en fines plaquettes gréso-micacées, voire en petits bancs (1 cm à 3 cm d'épaisseur) annonciateurs des grès sus-jacents.

### C. - LA FORMATION DES GRES D'ANNOT

Fortement érodée ici, elle n'atteint qu'une épaisseur totale de 10 m. Elle n'a pas livré de macrofaune. Nous la divisons en deux membres.

- Tout d'abord, un membre basal, épais de 5 m, rubané, qui montre des bancs épais de 0,25 m à plus de 1 m, intercalés de marnes sableuses en passées de 3 cm à 10 cm. Dans l'ensemble, la granulométrie des bancs est fine à moyenne, rarement grossière. On note la présence de fins litages parallèles, de figures de base de bancs (flute-casts, frondescent-casts), de débris végétaux, de pistes de vers, de terriers.

- Ensuite apparaît un banc massif de 5 m d'épaisseur environ et de granulométrie moyenne, qui constitue le membre supérieur.

Dans le plan de la falaise (orientée Est-Ouest) donné par la cuesta de grès qui domine notre coupe, la partie basale rubanée disparaît vers l'Est : ses bancs se biseautent en effet dans cette direction de telle sorte que, à 300 m de la coupe, le banc massif arrive directement au contact des Marnes bleues. Le membre inférieur a donc totalement disparu ici.

Sous le Ruch même, c'est-à-dire à 900 m environ à l'Est-Sud-Est de la coupe, on trouve environ 15 m de grès à faciès rubané (en bancs atteignant jusqu'à 2 m d'épaisseur), à intercalaires de marnes sableuses (en passées de 0,20 m à 2 m), surmontés de bancs gréseux massifs, jointifs, qui constituent, sur une épaisseur de 80 m environ, le reste de la formation jusqu'au point culminant. Les discontinuités d'affleurement et la faible épaisseur des grès laissée par l'érosion au niveau de la coupe, ne nous a malheureusement pas donné la possibilité d'établir des corrélations entre les différents membres de ces secteurs.

## III. - PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS

### A. - ECHANTILLONNAGE EN CONTINU

L'épaisseur des sédiments de la coupe a été mesurée puis découpée en intervalles de 2,50 m. Le prélèvement s'est fait en continu, centimètre par centimètre, chaque intervalle homogène constituant un même échantillon. Chaque échantillon renferme donc tous les niveaux que l'on rencontre dans cet intervalle.

De plus, en cas de rupture lithologique, la fraction initiale est divisée en autant d'échantillons secondaires qu'il apparaît d'ensembles lithologiques nettement différents dans cet intervalle. C'est précisément le cas des niveaux +28, +75, +83 et +90 où nous avons ramassé respectivement 4, 2, 2, et 3 échantillons secondaires.

### B. - ECHANTILLONNAGE PONCTUEL

Dans ce cas, les échantillons sont prélevés sur quelques centimètres ou quelques dizaines de centimètre, dans des niveaux espacés dont le choix est induit par les caractères lithologiques de la série étudiée.

# CHAPITRE II : ANALYSE DU CONTEXTE SEDIMENTAIRE

L'étude d'organisme implique celle du milieu dans lequel ils vivaient, par conséquent, celle des sédiments qui contiennent leurs restes fossilisés.

Ce chapitre comporte une étude de la géochimie de la série, des minéraux lourds et magnétiques qu'elle renferme, et des microfaciès des niveaux indurés.

## I. - GEOCHIMIE

A. - ANALYSES MINERALOGIQUES
- 1) - Principaux constituants minéraux
  - a) manipulation
  - b) résultats
- 2) - Minéraux argileux
  - a) manipulation
  - b) résultats

B. - ANALYSES DE CHIMIE MINERALE
- 1) - Manipulation et discussion des paramètres
- 2) - Application aux sédiments du Ruch
  - a) le bore
  - b) les autres éléments

C. - ANALYSES DE CHIMIE ORGANIQUE
- 1) - Dosage du carbone organique
  - a) manipulation
  - b) résultats
- 2) - Carbon-radio
  - a) manipulation
  - b) résultats

D. - CONCLUSION

## II. - MINERAUX LOURDS ET MAGNETIQUES

A. - METHODE DE SEPARATION ET RESULTATS

B. - METHODE PAR DIFFRACTION X ET RESULTATS
1) Manipulation
2) Construction graphique
3) Discussion

C. - CONCLUSION

## III. - MICROFACIES

A. - NIVEAUX CALCAIRES INDURES
1) Observations
2) En résumé

B. - NIVEAUX GRESEUX
1) Observations
2) En résumé

C. - CONCLUSION

Les échantillons traités dans ce chapître ont été prélevés de façon ponctuelle, à différents niveaux, en fonction du découpage lithologique, de la répartition des organismes et du type d'analyse prévu.

# I. - GEOCHIMIE

Pour réaliser cette étude, 17 échantillons ont été choisis dans l'ensemble de la coupe :

- 1 dans les Calcaires nummulitiques,
- 2 dans les Calcaires intermédiaires,
- 9 dans les Marnes bleues,
- 5 dans les joints marneux de la formation des Grès d'Annot.

Chacun de ces échantillons a subi systématiquement la même série d'analyses minéralogiques et chimiques.

## A. - ANALYSES MINERALOGIQUES (Pl. 7)

### 1) - Principaux constituants minéraux

La détermination des principaux constituants minéraux a pour but de donner un profil lithologique global des échantillons à traiter. On dose ainsi semi-quantitativement, par diffraction X sur la roche totale, le quartz, la calcite, la dolomie.

#### a) manipulation

L'échantillon est broyé en une poudre isogranulométrique qui est homogénéisée et pressée sur un support spécial de façon à ne présenter aucune orientation préférentielle. Il est placé dans un diffractomètre à rayonnement X. Le rayonnement diffracté est enregistré sur une baie de comptage ; son intensité est proportionnelle aux concentrations des différents minéraux.

Cette méthode est peu précise, les résultats étant donnés avec une incertitude reltive de 5 à 10 % suivant les cas. La calcite est d'autre part nettement sous-estimée par cette méthode, ce qui apparaît clairement par comparaison avec les valeurs obtenues au calcimètre Bernard [ 28 ] (Pl. 7, calcimétrie).

La courbe enveloppe du résidu total insoluble à HCl complète cette analyse minéralogique en précisant la proportion relative des carbonates et des silicates.

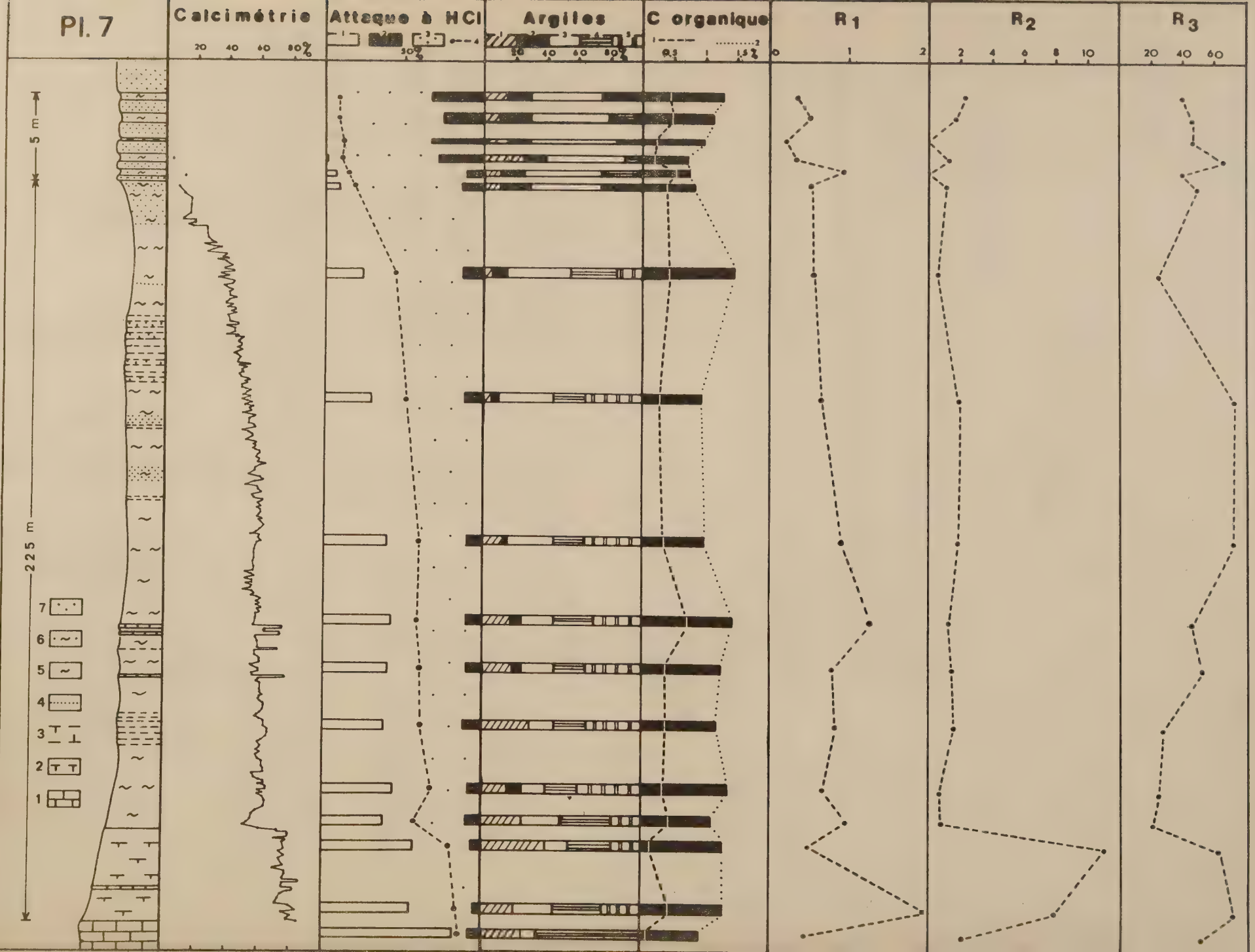
#### b) résultats

Dans les sédimentations du Ruch, la dolomie est toujours absente ; d'autre part la proportion de calcite décroît constamment depuis les Calcaires nummulitiques, qui sont assez purs (80 à 90 % de $CO_3Ca$), jusqu'au sommet des Marnes bleues. Inversement on observe une augmentation graduelle des constituants insolubles qui deviennent prépondérants dès la partie haute de ces marnes ; le quartz, toujours présent, s'accroît en proportion surtout dès la base de la formation des Grès d'Annot.

### 2) - Minéraux argileux

Les associations des minéraux argileux renseignent sur les sources d'apports, et éventuellement, sur les conditions physico-chimiques régnant dans le bassin au moment du dépôt. Il est d'autre part très important de connaître la composition minéralogique de cette fraction car elle est le support des éléments dosés en chimie minérale.

On dose les minéraux argileux par diffraction X à partir d'un agrégat orienté sur plaquette.


Pl. 7
Calcimétrie
Attaque à HCl
Argiles
C organique
R1
R2
R3
5 m
225 m
7
6
5
4
3
2
1

a) manipulation

Après décarbonatation de la roche à l'acide chlorhydrique et décantation du résidu insoluble, la fraction fine, inférieure à 5 microns, qui reste en suspension, est recueillie sur une plaque mince puis séchée à l'étuve. Grâce à leur structure phylliteuse, les minéraux argileux s'orientent suivant des plans parallèles à la lame mince. L'échantillon ainsi préparé est analysé de la même manière que les principaux constituants minéraux.

Les proportions relatives des différents minéraux sont estimées en comparant les hauteurs des pics de premier ordre, et éventuellement de deuxième ordre, sur les diffractogrammes.

b) résultats

Dans la coupe du Ruch, la composition de la phase argileuse est nettement influencée par les variations lithologiques : dans les Calcaires nummulitiques les interstratifiés irréguliers (illite-montmorillonite) dominent, et sont associés à de la kaolinite ; dans les Calcaires intermédiaires, s'ajoute à cette association de la montmorillonite vraie (qui reste cependant subordonnée aux interstratifiés).

Dès la base des Marnes bleues, un changement important survient : les interstratifiés irréguliers diminuent, leur pourcentage devenant plus faible que celui de la montmorillonite ; l'illite tend à augmenter, tandis que les proportions de kaolinite demeurent à peu près constantes.

Vers le haut des marnes, les pourcentages de montmorillonite et de kaolinite diminuent à leur tour, alors que celui de l'illite augmente (le dégré de cristallinité de l'illite augmente en même temps, les pics de diffraction de ce minéral devenant de plus en plus étroits).

Au niveau des Grès d'Annot, la montmorillonite a disparu ; les porportions d'interstratifiés irréguliers augmentent légèrement, celles de la kaolinite et de la chlorite (cette dernière ayant été peu représentée jusqu'alors) augmentent sensiblement. Enfin, dans ce niveau, l'illite est mieux cristallisée que partout ailleurs.

D'une manière générale nous constatons donc une augmentation graduelle de la proportion des minéraux détritiques, en particulier dans les Grès d'Annot où la progression du pourcentage de la chlorite coïncide avec l'apparition d'une illite mieux cristallisée.

La présence de kaolinite et de montmorillonite dans les marnes indique d'autre part l'existence d'un climat fortement hydrolysant à cette époque dans ces régions, climat de type probablement tropical humide. Nous savons à l'heure actuelle qu'a régné en France, du Crétacé supérieur à l'Oligocène, un climat subtropical ou méditerranéen à affinités tropicales [135] ; nos observations s'accordent donc tout à fait avec les connaissances acquises par ailleurs dans ce domaine.

---

## LEGENDE DE LA PLANCHE 7

Planche 7 - Minéralogie de la coupe et matière organique. Evolution des rapports $R_1$, $R_2$ et $R_3$. -

Lithologie sommaire : 1 - Calcaires nummulitiques ; 2 - Calcaires intermédiaires ; 3 - Passées plus calcaires dans les marnes ; 4 - Passées très sableuses ; 5 - Marnes bleues ; 6 - Marnes très sableuses ; 7 - Grès d'Annot. -

Dosages minéralogiques : 1 - Calcite ; 2 - Quartz ; 3 - Autres insolubles ; 4 - Courbe enveloppe des insolubles. -

Argiles : 1 - Kaolinite ; 2 - Chlorite ; 3 - Illite ; 4 - Interstratifiés irréguliers (illite-montmorillonite) ; 5 - Montmorillonite. -

Carbone organique : 1 - Valeurs des dosages sur roche totale ; 2 - Valeurs des dosages sur fraction fine (inférieure à 5 ). -

$R_1$ : Carbone organique dosé sur résidu insoluble / Carbone organique dosé sur fraction fine.

$R_2$ : Mo / Carbone organique dosé sur fraction fine. -

$R_3$ : Cu / Carbone organique dosé sur fraction fine. -

B. - ANALYSES DE CHIMIE MINERALE

Les travaux récents soulignent de plus en plus l'existence de relations entre les concentrations de certains éléments chimiques présents à l'état de traces dans les roches sédimentaires, et les conditions physico-chimiques régnant dans le milieu de dépôt des roches qui les contiennent, encore que les relations exactes qui les lient ne soient pas toujours bien connues. Les méthodes de géochimie sont donc d'un grand secours pour préciser l'origine et le chimisme de la sédimentation dans un bassin.

Dans le cas présent, les échantillons ont été analysés par spectrométrie d'émission UV.

1) - Méthode

Après décarbonatation de la roche à l'acide chlorhydrique et décantation du résidu insoluble, la fraction fine (inférieure à 5 microns) est calcinée à 900° C, puis mélangée à un buffer spectrographique (2). L'homogénéisation étant réalisée, l'échantillon est pastillé sous pression (3,5 tonnes/$cm^2$). La pastille constitue l'anode du spectromètre. Sous l'arc électrique, chaque élément constitutif de l'échantillon est excité et émet une radiation UV de longueur d'onde caractéristique qui traverse des fentes qualibrées ; cette énergie est enregistrée sur condensateur. Il suffit, lorsque l'émission est terminée d'interroger les différents condensateurs qui restituent l'énergie reçue sous forme d'une information proportionnelle à la teneur de chaque élément.

On obtient ainsi :

- le dosage de douze éléments-traces (bore, vanadium, molybdène, plomb, zinc, cuivre, chrome, nickel, cobalt, strontium, baryum, gallium) ; les teneurs, données en ppm, ont été corrigées de l'influence du quartz, encore présent dans la fraction considérée, qui agit comme diluant (Pl. 8);
- le dosage semi-quantitatif des constituants majeurs des argiles exprimés sous la forme d'oxydes ($SiO_2$, $Al_2O_3$, MgO, Ca O, $TiO_2$, $MnO_2$) auxquels s'ajoute $Fe_2O_3$, qui permet de contrôler les variations de la phase argileuse. Les valeurs obtenues sont données en pourcentage dans la planche 9.

Dans la terminologie géochimique classique, on groupe les éléments suivant leur comportement statistiquement le plus fréquent au cours du cycle sédimentaire ; on distingue ainsi :

- les éléments lithophiles : liés principalement à la phase silicatée (argiles, feldspaths, certains minéraux lourds...), ils représentent généralement la participation des apports détritiques fins dans la sédimentation ; ce sont principalement le gallium, le strontium, le baryum, le vanadium et le chrome ; ils sont habituellement associés à certains éléments majeurs tels que $Al_2O_3$, Mg O, $TiO_2$, Ca O et évidemment $SiO_2$.
- les éléments organophiles : liés à la matière organique autochtone, ils fournissent une indication sur le potentiel d'oxydo-réduction (Eh) du milieu de dépôt. Le molybdène essentiellement, le cuivre et le nickel parfois, le plomb, le zinc, le vanadium occasionnellement, appartiennent à ce groupe.

L'apparition d'un fort coefficient de corrélation entre éléments organophiles et carbone organique implique une concentration de ces éléments par cette matière organique, mécanisme qui ne peut se produire qu'en milieu réducteur ; cette tendance du milieu peut être précisée si l'on considère les rapports des teneurs en molybdène et cuivre (Mo/Cu) ou en Molybdène et nickel (Mo/Ni), le molybdène n'étant fixé sur la matière organique qu'en milieu très réducteur, le cuivre et le nickel étant fixés, quant à eux, en milieu moins réducteur [ 100 ] ;

- les éléments sidérophiles : les associations sidérophiles comprennent principalement le fer, le manganèse, le nickel, le cobalt, et éventuellement, le plomb, le chrome, le vanadium, le molybdène, le titane, dont le comportement est plus variable. Ces éléments sont fréquemment concentrés dans les oxydes insolubles (résistats), tels que la magnétite, la chromite, etc. ou dans les hydroxydes transportés sous forme colloïdale ou en solution (hydrolysats).

Les concentrations d'éléments sidérophiles impliquent une altération météorique assez intense sur les aires continentales voisines du milieu de dépôt;

- les éléments chalcophiles : ils précipitent en même temps que la phase sulfurée et peuvent donc donner des indications sur la tendance plus ou moins réductrice du milieu de dépôt. Ce groupe, qui comprend le cuivre, le molybdène, le nickel, le zinc, le plomb, le cobalt, le chrome et l'argent, accompagne quelquefois les concentrations organophiles, mais il ne s'agit alors souvent que d'une simple convergence;

---

(2) - Un buffer spectrographique est un mélange de composition bien déterminée comprenant :
du graphite pour rendre l'échantillon conducteur ;
- des substances fondantes destinées à homogénéiser les effets de matrice au cours de l'émission UV ;
- un étalon interne qui contrôle la durée de l'émission UV.

- le bore : la liaison chimique bore-chlore étant très solide, on peut utiliser la teneur en bore comme indicateur de chlorinité des eaux interstitielles du sédiment : au cours de la lithification, le bore est en effet incorporé à la phase minérale et entre dans le réseau des argiles où il paraît se substituer à une partie de l'aluminium ; il acquiert ainsi une grande stabilité : la teneur en bore d'un sédiment reflète donc la salinité des eaux interstitielles au moment du dépôt, à condition que ce corps soit dosé sur la fraction argileuse de la roche.

Certains auteurs, tels COUCH et GRIM [65] discutent la valeur de cet indicateur dont la concentration dépendrait, entre autres, de la quantité d'illite contenue dans le sédiment, et du degré de cristallinité de ce minéral.

D'après les études effectuées à la S.N.P.A., on a cependant pu vérifier que le bore ne se fixe pas uniquement sur l'illite, mais qu'il peut être lié à n'importe quel minéral argileux, dans la mesure où celui-ci contient une proportion suffisante d'aluminium ; en outre, il faut bien remarquer que l'illite étant le minéral argileux le plus commun dans les sédiments marins, il est logique de trouver une certaine corrélation entre le bore et ce minéral.

La gamme de variation des teneurs en bore n'a pu être étalonnée directement sur les sédiments actuels ; les valeurs admises pour caractériser les différents milieux sont surtout fondées sur des données statistiques rapportées à d'autres critères d'environnement, sédimentologiques et / ou paléontologiques.

Il apparaît ainsi que les teneurs comprises entre 200 et 300 ppm reflètent un milieu marin à salinité normale ; de nombreuses mesures ont montré que cet intervalle de variation est demeuré stable depuis l'Infracambrien jusqu'au Quaternaire récent.

Des valeurs plus faibles indiquent une dessalure du milieu, les teneurs comprises entre 100 et 200 ppm caractérisant les sédiments saumâtres, deltaïques ou littoraux, les valeurs inférieures à 100 ppm caractérisant habituellement les sédiments continentaux ou lacustres.

Les valeurs les plus fortes traduisent une sursalure du milieu de dépôt : d'ordinaire la gamme de 300 à 700 ppm indique simplement un confinement, tandis que les concentrations plus élevées reflètent un milieu évaporitique.

Les différents types d'associations d'éléments-traces qui viennent d'être décrits peuvent coexister dans une même série d'échantillons ; on parvient à séparer statistiquement les groupes d'éléments covariants en utilisant l'analyse factorielle en mode R (matrice Varimax). Dans un premier temps l'analyse factorielle groupe les différents éléments ou variables en facteurs indépendants ; dans un deuxième temps, la méthode permet d'apprécier l'importance des différents facteurs reconnus, au niveau de chaque échantillon ("factor-scores").

Pour chaque facteur est indiqué le pourcentage qu'il représente dans la variance totale du système : seuls sont pris en compte les facteurs extrayant un pourcentage suffisamment élevé de cette variance.

Les résultats de l'analyse factorielle n'indiquent pas "la nature géologique ou géochimique des facteurs ; mais les combinaisons entre variables mises en évidence dans les différents facteurs peuvent suggérer des hypothèses les concernant" [102]. En d'autres termes, la signification géochimique de ces facteurs peut être décelée par référence à des modèles connus ou à d'autres observations géologiques dans la coupe.

2) - Application aux sédiments de la coupe du Ruch (Pl. 8 et 9)

a) Le bore

Dans la partie inférieure de la coupe (Calcaires nummulitiques, Calcaires intermédiaires et moitié inférieure des Marnes bleues) les teneurs en bore indiquent une salinité légèrement supérieure à la normale : on peut considérer le milieu de dépôt comme franchement marin, avec cependant une légère tendance au confinement.

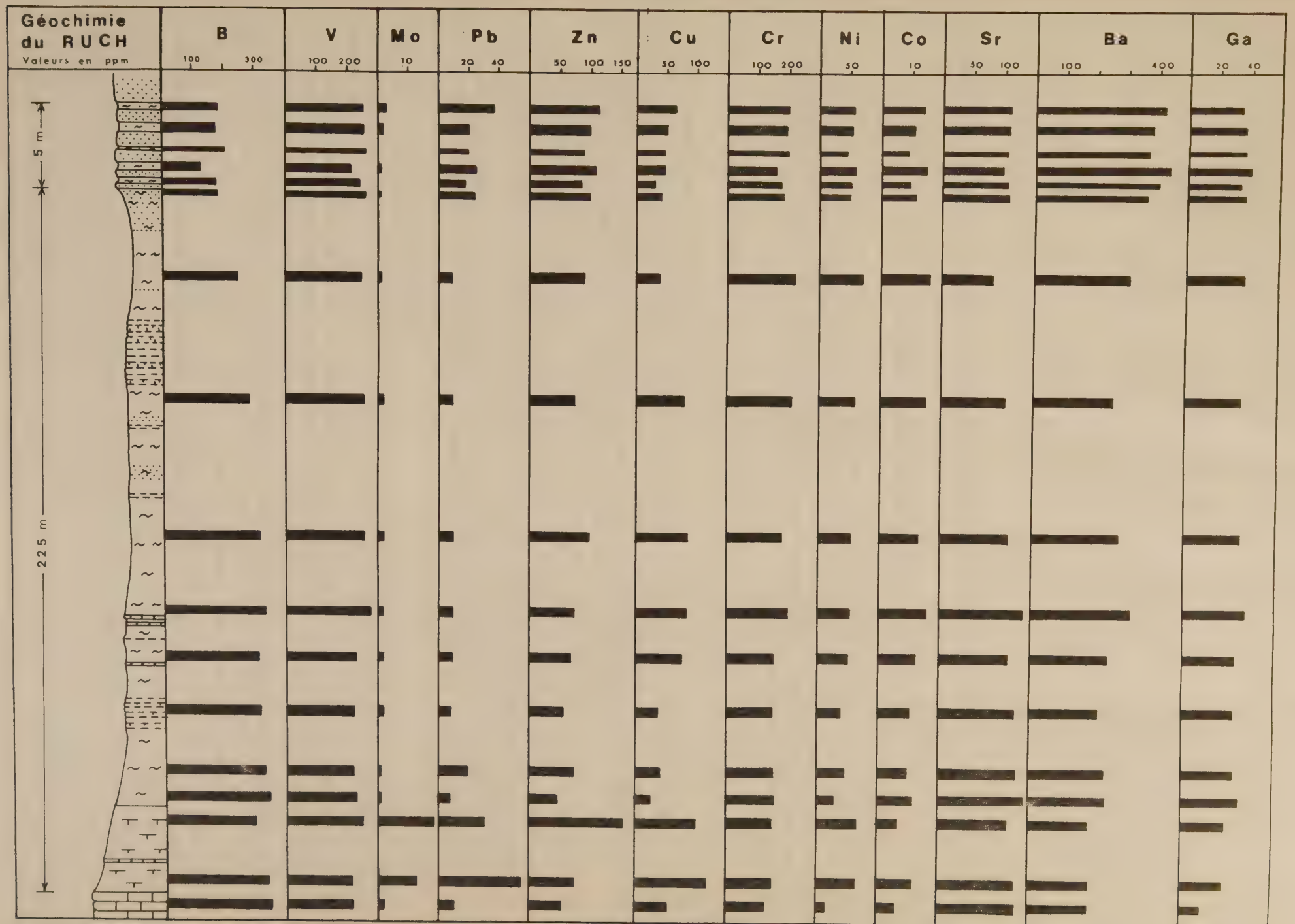
---

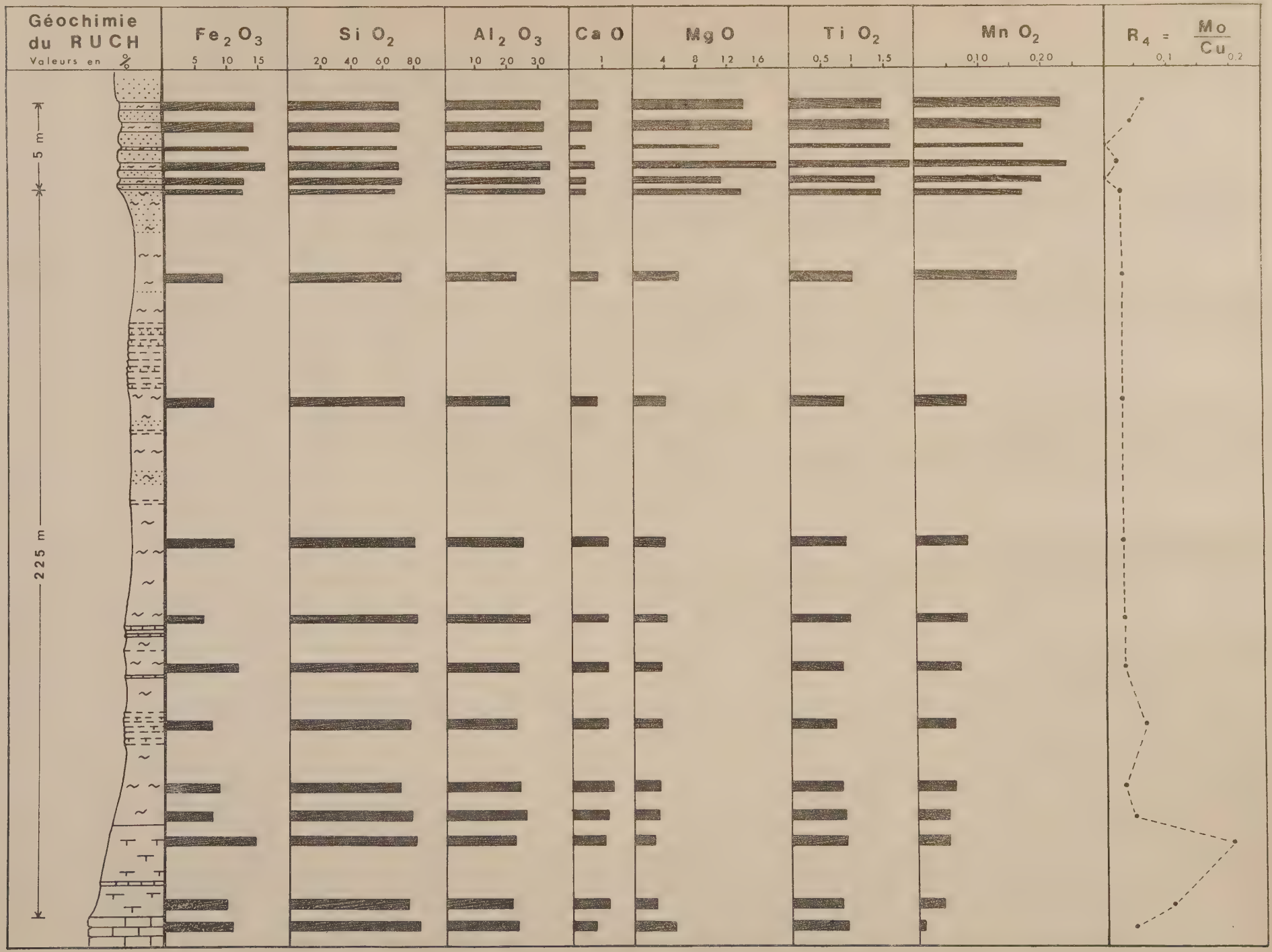
## LEGENDE DE LA PLANCHE 8

Planche 8 - Répartition des valeurs des dosages des éléments-traces (valeurs en ppm). -

## LEGENDE DE LA PLANCHE 9

Planche 9 - Répartition des valeurs des dosages des éléments majeurs (valeurs données en %). Evolution du rapport $R_4$


Géochimie du RUCH
Valeurs en ppm
B
100 300
V
100 200
Mo
10
Pb
20 40
Zn
50 100 150
Cu
50 100
Cr
100 200
Ni
50
Co
10
Sr
50 100
Ba
100 400
Ga
20 40
5 m
225 m


Géochimie du RUCH
Valeurs en %
Fe2O3
5 10 15
Si O2
20 40 60 80
Al2 O3
10 20 30
Ca O
1
Mg O
4 8 12 16
Ti O2
0,5 1 1,5
Mn O2
0,10 0,20
R4 = Mo/Cu
0,1 0,2
5 m
225 m

Plus haut dans les marnes, puis dans les grès, les teneurs diminuent progressivement ; elles permettent néanmoins de caractériser un milieu marin dans toute la partie haute de la coupe ; dans les Grès d'Annot une légère dessalure se manifeste à l'évidence, la moyenne des valeurs se situant au voisinage de 180 ppm.

L'évolution des teneurs en bore met en évidence des apports d'eaux douces continentales dans le bassin marin de sédimentation, approximativement à partir du milieu de la formation des Marnes bleues ; ces apports s'accroissent dans la partie haute de la série pour devenir assez massifs au moment du dépôt des Grès d'Annot.

b) les autres éléments

Leur rôle apparaît grâce à la méthode statistique d'analyse factorielle dont les principes ont été exposés ci-dessus : en effet ils présentent entre eux des relations complexes et ne peuvent être considérés indépendamment les uns des autres.

Le tableau ci-dessous représente la matrice Varimax de l'analyse factorielle en mode R utilisée ici : les nombres (notés de -1 à +1) correspondent au poids des variables dans chacun des facteurs ; dans la dernière colonne (communalités) est reporté le pourcentage total de la variance de chaque élément pris en compte par la matrice à cinq facteurs. Cinq facteurs seulement ont été retenus sur les huit calculés initialement ; ils rendent compte en effet d'un peu plus de 90 % de la variance totale du système ; le pourcentage de variance du facteur 5 n'est déjà plus que de 7,27, et ce chiffre tombe à 5,35 % pour le facteur 6 et à 1,36 % et 1,46 % pour les facteurs 7 et 8 : d'importance trop faible, ces derniers facteurs ont été négligés.

Matrice Varimax de l'analyse factorielle en mode R

MATRICE FACTORIELLE VARIMAX

| REFER. | FACT. 1 | FACT. 2 | FACT. 3 | FACT. 4 | FACT. 5 | COMMUN. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| VANAD. | 0.950 | -0.039 | 0.012 | -0.100 | -0.115 | 0.992 |
| MO | -0.360 | -0.132 | 0.852 | -0.006 | 0.211 | 0.968 |
| PB | 0.268 | 0.124 | 0.198 | -0.919 | -0.081 | 0.992 |
| ZN | 0.663 | 0.147 | 0.236 | -0.388 | -0.070 | 0.978 |
| CU | 0.043 | 0.173 | 0.926 | -0.177 | -0.032 | 0.962 |
| CR | 0.957 | 0.166 | -0.032 | 0.035 | -0.028 | 0.979 |
| N I | 0.564 | 0.700 | 0.114 | -0.135 | 0.038 | 0.983 |
| CO | 0.741 | 0.534 | -0.010 | 0.192 | -0.040 | 0.991 |
| SR | 0.713 | -0.379 | -0.134 | -0.352 | -0.244 | 0.996 |
| BA | 0.941 | 0.090 | -0.133 | -0.180 | -0.165 | 0.991 |
| GA | 0.823 | 0.451 | -0.164 | -0.028 | -0.062 | 0.988 |
| $Fe_2O_3$ | 0.612 | -0.255 | 0.077 | -0.439 | -0.226 | 0.978 |
| $SiO_2$ | 0.191 | -0.953 | -0.039 | 0.069 | -0.116 | 0.978 |
| $Al_2O_3$ | 0.899 | -0.067 | -0.148 | -0.300 | -0.224 | 0.994 |
| Mg O | 0.887 | -0.070 | -0.109 | -0.331 | -0.234 | 0.995 |
| $MnO_2$ | 0.882 | -0.178 | -0.064 | -0.204 | -0.215 | 0.993 |
| $TiO_2$ | 0.884 | -0.014 | -0.088 | -0.336 | -0.253 | 0.988 |
| CARBONE | -0.305 | 0.116 | 0.108 | 0.099 | 0.929 | 0.995 |
| % VARIANCE | 50.33 | 12.62 | 10.11 | 10.07 | 7.27 | |
| % VARIANCE CUMULEE | 50.33 | 62.94 | 73.06 | 83.13 | 90.39 | |

La planche 10 ou tableau des "factor-scores" traduit l'importance de chaque facteur dans les différents échantillons : il montre ainsi l'évolution de ces facteurs tout au long de la coupe.

- facteur 1 : il représente 50,33 % de la variance totale.

Il groupe les éléments lithophiles ($Al_2O_3$, Mg O, Ba, Sr, Ca, Ti, V, Gr) et sidérophiles ($Fe_2O_3$, Mn, Ni, Ca, Zn).

Ce facteur est essentiellement lié au détritisme ; il reflète la participation des apports terrigènes dans la sédimentation, à la fois sous forme de résistats et d'hydrolysats.

Dans les Calcaires nummulitiques (et uniquement à leur niveau), l'importance de ce facteur 1 est discutable et ne doit pas être surestimée, car la fraction argileuse ne représente, dans cette formation, qu'une faible partie de la roche.

Ce facteur augmente nettement depuis la base des Calcaires intermédiaires jusqu'aux dernières passées marneuses dans les grès. Cet accroissement suit fidèlement les variations minéralogiques (augmentation du pourcentage du résidu insoluble, de la chlorite et de l'illite détritique), ainsi que la diminution des teneurs en bore.

- facteur 2 : il représente 12,62 % de la variance totale.

Il groupe le nickel, le cobalt et $SiO_2$.

Dans la coupe du Ruch il fait apparaître une corrélation inverse entre le doublet Ni-Co et Si $O_2$. Ce facteur ne peut être rattaché à un phénomène géologique simple ; on note simplement qu'il est particulièrement important à la base des Calcaires intermédiaires où il coïncide avec de fortes teneurs en éléments chalcophiles.

- facteur 3 : il représente 10,11 % de la variance totale.

Ce facteur met en évidence la relation molybdène-cuivre (éléments chalcophiles).

Les teneurs en molybdène, déjà fortes à la base des Calcaires intermédiaires augmentent légèrement vers leur sommet, tandis que celles du cuivre suivent un processus exactement inverse (Pl. 8). Ces fortes teneurs impliquent un milieu assez réducteur, affirmé plus nettement au sommet des Calcaires intermédiaires (augmentation de teneur du molybdène, et surtout forte progression du rapport $R_4$ c'est-à-dire du rapport Mo/Cu).

Dès la base des marnes, ces conditions nettement réductrices s'estompent car les teneurs en molybdène et cuivre, ainsi que le rapport Mo/Cu diminuent brusquement pour conserver, à partir de ce point, des valeurs faibles jusqu'au sommet de la coupe.

Au niveau du passage Calcaires intermédiaires - Marnes bleues, les rapports $R_2$ (Mo/C organique dosé sur fraction fine) et $R_3$ (Cu/C organique dosé sur fraction fine) suivent une évolution parallèle à celle du rapport $R_4$ (Pl. 7 et 8) et corroborent donc cette interprétation.

- facteur 4 : il représente 10,07 % de la variance totale.

Il exprime une liaison entre le plomb et le fer, association franchement sidérophile.

La répartition de ce facteur montre une coupure nette entre les Marnes bleues et les Grès d'Annot, coupure qui exprime probablement le fait que la proportion d'hydrolysats doit diminuer assez brutalement dans les grès au profit de celle des résistats.

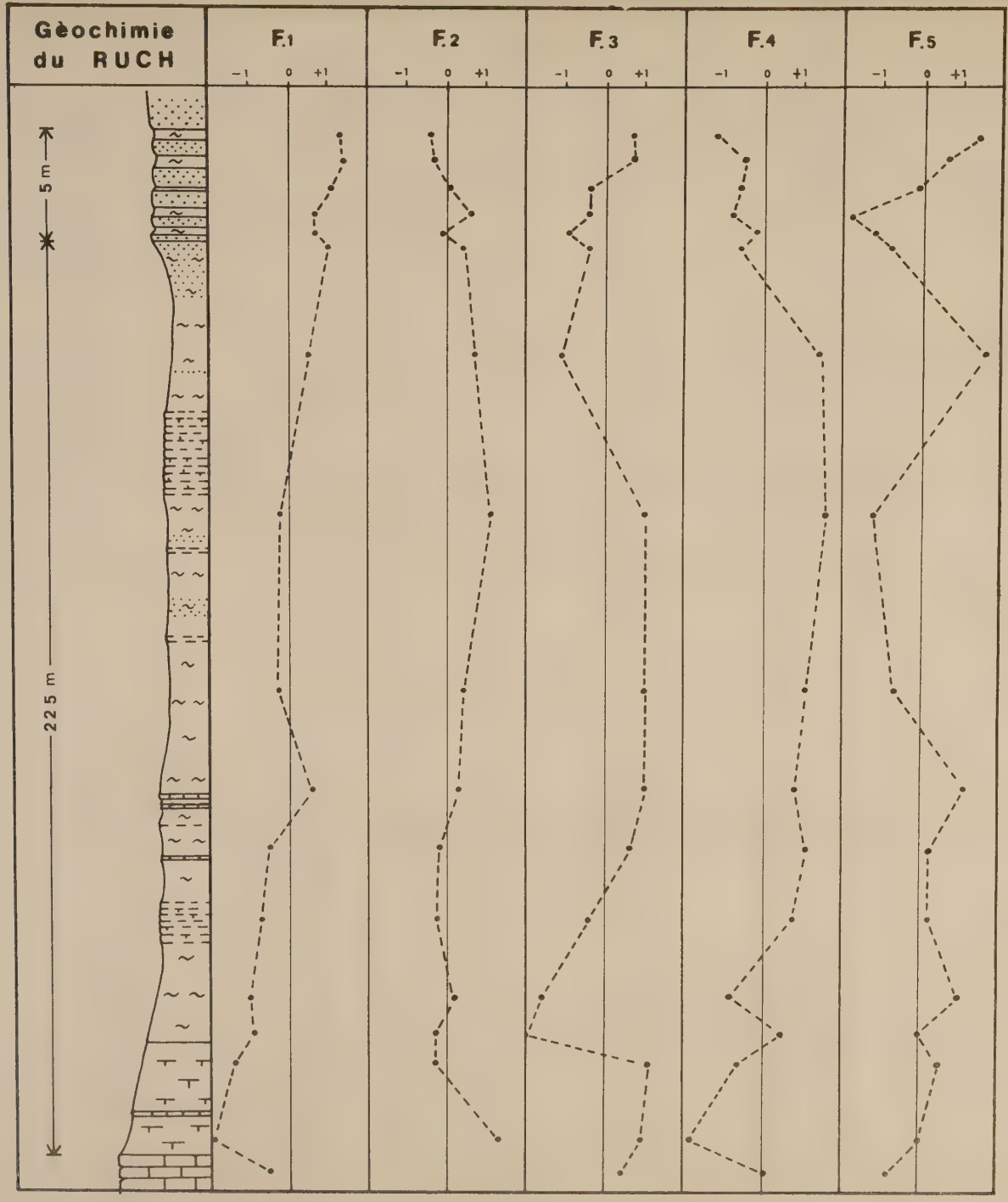
- facteur 5 : il représente 7,27 % de la variance totale.

Il montre que le carbone varie indépendamment des éléments-traces : la matière organique déposée n'entretient donc pas un milieu réducteur permettant la fixation de ces éléments, ce qui est l'indice d'une matière organique d'origine essentiellement détritique.

Son importance est notable tout au long de la coupe, mis à part quelques niveaux : moitié supérieure des Marnes bleues, partie terminale exceptée, et base des Grès d'Annot.

## C. - ANALYSES DE CHIMIE ORGANIQUE

La matière organique des sédiments marins comprend d'une part une fraction autochtone issue des organismes vivant dans le milieu même (algues, animaux planctoniques ou benthiques) et d'autre part, une fraction héritée, d'origine continentale, qui se dépose dans le milieu après un transport plus ou moins long. Cette matière organique héritée a subi généralement une certaine oxydation et elle est nettement plus pauvre en hydrogène (donc plus riche en carbone) que la matière organique autochtone ; sa densité est aussi plus élevée que celle de cette dernière. Une étude détaillée de la matière organique des sédiments met en œuvre des analyses complexes pour permettre de déterminer avec précision la nature des éléments constituants et l'évolution qu'il ont subie.


Gèochimie du RUCH
F.1
F.2
F.3
F.4
F.5
−1
0
+1
5 m
225 m

Dans le cas présent, nous disposons seulement de deux séries de données (Pl. 7) :
- celles fournies par l'analyse quantitative du carbone organique, qui reflètent la proportion de matière organique totale contenue dans la roche ;
- les valeurs du Carbon-ratio, qui peuvent donner une indication sur le degré d'évolution diagénétique de cette matière organique.

1) - Dosage du carbone organique

Les analyses ont été effectuées, d'une part sur la roche totale, d'autre part sur la phase argileuse isolée par décantation fractionnée (la fraction retenue est celle inférieure à 5 microns). Cette dernière opération a pour but de séparer la partie la plus fine de la matière organique qui est, en principe, la plus riche en éléments d'origine autochtone : la comparaison des résultats obtenus sur cette fraction et de ceux obtenus sur la roche totale, fournit une appréciation sur l'importance relative des fractions, autochtone et héritée, dans la matière organique totale du sédiment. L'analyse est effectuée sur le résidu de décarbonatation de la roche, par dosage du $CO_2$ résultant de la combustion de la fraction étudiée en atmosphère d'oxygène ; la quantité de carbone ainsi déterminée est ensuite ramenée à la roche totale par calcul.

Dans la coupe du Ruch, l'augmentation du rapport des valeurs obtenues sur le résidu de décarbonatation d'une part, et sur la fraction argileuse d'autre part ($R_1$), rend compte de l'enrichissement de la série en matière organique détritique de bas en haut ; le rapport évolue donc bien dans le même sens que les indicateurs du détritisme minéral, et l'on peut en conclure que les Calcaires intermédiaires sont les niveaux les plus riches en matière organique autochtone.

2) - Carbon-ratio

Ce paramètre donne une idée de l'évolution diagenétique subie par la matière organique. Il se mesure sur la fraction résiduelle de la matière organique (kérogène) après extraction des constituants solubles au chloroforme. Cette séparation du kérogène est destinée à éliminer des échantillons à analyser, les imprégnations résultant d'éventuelles migrations.

a) manipulation

L'analyse se fait en deux temps ; la fraction non extractible est tout d'abord pyrolisée à 900° C en atmosphère inerte (argon). Il se produit un cracking des constituants aliphatiques de la matière organique qui sont volatilisés puis oxydés en $CO_2$. Ce $CO_2$ est dosé par chromatographie en phase gazeuse. Le carbone ainsi mobilisable représente le carbone volatile (C.V.).

L'atmosphère d'argon est remplacée par de l'oxygène et on brûle le carbone résiduel. Le $CO_2$ dégagé est dosé par chromatographie en phase gazeuse et rend compte du carbone résiduel (C.R.).

On peut alors calculer le rapport Cr/Cv + Cr qui est appelé, par définition le Carbon-ratio. Ce rapport est une fonction complexe de la nature de la matière organique et de son degré de carbonisation dû à la diagénèse thermique ou à une oxydation avant son dépôt.

Dans le cas d'une matière organique essentiellement détritique ligneuse, les valeurs du rapport sont d'emblée très élevées (de 0,75 à 0,85 ou plus), et elles n'évoluent que faiblement sous l'effet des contraintes thermiques dues à l'enfouissement.

Dans le cas d'une matière organique autochtone dominante, le degré de carbonisation dépend beaucoup plus nettement de l'enfouissement ; l'éventail de variation se situe alors généralement entre 0,50 et 1.

Si l'on se trouve en présence d'une matière organique mixte, on peut donc s'attendre à une grande dispersion des valeurs due à la diversité des proportions des constituants organiques autochtones et hérités.

b) résultats

C'est précisément le dernier cas invoqué qui intéresse la coupe du Ruch. Les mesures du carbon-ratio sur le résidu total de décarbonatation et sur la fraction fine permettent toutefois de sélectionner les valeurs les plus représentatives du dégré d'évolution, valeurs qui seront données par les échantillons les plus riches en matière organique autochtone.

D'après les résultats précédents, on peut conclure que le carbon-ratio mesuré sur la fraction fine des Calcaires intermédiaires où la matière organique autochtone est dominante, reflète au mieux le degré d'évolution diagénètique de la série, spécialement dans les échantillons où le rapport $R_1$ (carbone organique dosé sur résidu total / carbone organique dosé sur fraction fine) est le plus faible. On constate effectivement que les échantillons de cette formation fournissent les valeurs les plus basses du carbon-ratio (0,54-0,56) ; il existe d'autre part un écart particulièrement important entre les valeurs mesurées sur le résidu total (0,80) et celles mesurées sur la fraction fine, ce qui prouve bien qu'il y a deux phases distinctes dans cette matière organique.

Dans les autres échantillons, les valeurs du carbon-ratio sont presque aussi élevées sur fraction fine que sur résidu total : la matière organique est alors essentiellement d'origine détritique ligneuse, et il n'y a pratiquement pas de fraction autochtone.

Les valeurs les plus significatives du Carbon-ratio (prises au sommet des Calcaires intermédiaires) se situent donc au voisinage de 0,54-0,56, ce qui correspond à un très faible dégré d'évolution ; si l'on fait référence à un gradient géothermique normal, on peut en conclure que l'enfouissement maximal de la série est resté inférieur à des valeurs de l'ordre de 1200 à 1500 m.

## D. - CONCLUSION

Cette étude géochimique met en évidence un certain nombre de caractères du milieu de dépôt dans l'Eocène supérieur de la coupe du Ruch. On retiendra principalement l'augmentation progressive des influences liées au détritisme depuis le sommet des Calcaires nummulitiques jusqu'à la formation gréseuse terminale. Cette évolution se manifeste :

- dans la paragenèse minérale, par l'accroissement de la phase silicatée au détriment des carbonates, et par l'augmentation du pourcentage d'illite et de chlorite dans la phase argileuse ;
- dans les concentrations d'éléments-traces lithophiles et sidérophiles (traduites par l'évolution du facteur 1) ;
- dans la diminution des teneurs en bore qui reflètent le passage d'un milieu marin à tendance confinée dans les Calcaires nummulitiques, les Calcaires intermédiaires et la partie inférieure des Marnes bleues, à un milieu marin légèrement dessalé dans les Grès d'Annot ; cette évolution est certainement dépendante d'apports de plus en plus importants d'eaux douces d'origine continentale dans le bassin de sédimentation ;
- dans la composition de la matière organique, où la fraction détritique ligneuse devient de plus en plus importante du bas vers le haut de la série.

On peut noter aussi que la nature des minéraux argileux, dans les calcaires et les marnes, implique des conditions climatiques fortement hydrolysantes sur les aires continentales voisines, au moment du dépôt.

Enfin, on a remarqué l'existence de conditions temporairement réductrices nettes dans les Calcaires intermédiaires ; la présence de ces conditions coïncide sensiblement avec le maximum de fréquence de la matière organique autochtone ; celle-ci a dû pouvoir s'accumuler dans un milieu à faible niveau d'énergie, légèrement confiné ainsi que l'attestent les teneurs en bore de ces sédiments.

Les variations des différents paramètres pris en compte par la géochimie permettent de placer deux ruptures essentielles dans la série examinée :

- la première à la base des Marnes bleues, marquée par une augmentation du niveau d'énergie (traduite par l'affirmation des influences liées au détritisme simplement amorcé jusqu'alors dans les Calcaires intermédiaires) et par la diminution des conditions réductrices du milieu de dépôt ;
- la deuxième, située approximativement vers le milieu des Marnes bleues, et marquée par le début de la dessalure du milieu de dépôt.

Ce secteur du bassin est donc d'abord soumis à des influences détritiques très timides, d'origine probablement lointaine, qui s'exercent dans un milieu où le niveau d'énergie est plutôt faible.

Le flux de matériaux terrigènes s'accroît progressivement vers le haut de la série, en même temps qu'augmentent les apports d'eaux douces continentales ; corrélativement, les matériaux transportés deviennent moins évolués, car probablement d'origine plus proche. L'avènement de la sédimentation gréseuse marque l'aboutissement de cette évolution : avec elle, les résistats prennent le pas sur les hydrolysats, ce qui signifie probablement que, sur les aires continentales nourricières de cette sédimentation détritique, l'érosion mécanique devient prédominante sur l'érosion chimique.

## II. - LES MINERAUX LOURDS ET MAGNETIQUES

Une étude du contexte sédimentaire ne doit pas ignorer les minéraux lourds et magnétiques dont l'analyse peut contribuer à la connaissance d'un sédiment. Nombre d'auteurs ont en effet souligné, depuis longtemps, l'intérêt d'une telle analyse dans les différents domaines de la géologie. En ce qui nous concerne, nous avons dû nous contenter d'un travail de reconnaissance tout à fait préliminaire.

Nous avons choisi onze échantillons répartis de la façon suivante :
- un, dans les Calcaires intermédiaires,
- six, dans les Marnes bleues,
- quatre, dans les joints marneux des Grès.

Pour chaque échantillon, la matrice argileuse a été éliminée par lavage sur une colonne de tamis. Après un examen sous la loupe des différents refus, c'est la fraction de granulométrie comprise entre 125 microns et 200 microns qui s'est révélée la plus susceptible de contenir des minéraux.

### A. - METHODE DE SEPARATION ET RESULTATS

Les échantillons choisis subissent un passage au séparateur magnétique de FRANTZ [3], toute la fraction magnétique de chacun d'eux est ainsi retenue. Cette fraction n'est pas exempte d'éléments parasites, tels que les fossiles dont le test est épigenisé ou rempli par de la pyrite plus ou moins oxydée.

1) - Afin d'éliminer la fraction parasite des éléments magnétiques, le lot recueilli subit une attaque à l'acide chlorhydrique dilué (N/10) ; on évite la dissolution des oxydes de fer tels que limonite, hématite, etc. en limitant le temps de la réaction. La perte de poids de l'échantillon correspond ainsi au $CO_3Ca$ des tests "épigénisés".

2)- On utilise la méthode des liqueurs denses pour séparer les minéraux lourds. La fraction non magnétique est passée au bromoforme dilué (d = 2, 80). Tous les minéraux lourds sont ainsi récupérés puis pesés.

3) - Les poids des minéraux magnétiques d'une part et des minéraux lourds d'autre part, sont traduits en pourcentage du poids total de l'échantillon traité ici. La partie résiduelle de cet échantillon est constituée de fossiles et / ou de minéraux détritiques légers non magnétiques.

En ce qui concerne la coupe du Ruch (Pl. 11) :

-- Le sommet des Calcaires intermédiaires montre un très faible pourcentage des minéraux lourds et magnétiques.

-- Ces minéraux lourds et magnétiques sont, par contre, plus abondants dès les Marnes bleues, en particulier aux cotes +125, +153, +218, +220. Cette augmentation est surtout le fait d'un net accroissement du nombre des tests épigénisés (Foraminifères essentiellement, avec une grande majorité de formes planctoniques).

---

(3) - Constantes d'utilisation du séparateur magnétique de FRANTZ :
- Forward slope = 25°
- Side slope = 10°
- Intensité = 2 A

-- Dans les marnes, entre les Grès d'Annot, on note une légère augmentation du pourcentage des minéraux lourds et magnétiques alors que, ici, les tests épigénisés montrent une tendance inverse.

## B. - METHODE PAR DIFFRACTION X ET RESULTATS

### 1) Manipulation

La fraction lourde et magnétique est placée dans un diffractomètre à rayons X. Le rayonnement diffracté est enregistré sur une baie de comptage. La position des pics sur le diffractogramme permet de déterminer la nature des minéraux présents dans l'échantillon. Leur hauteur, mesurée en mm par rapport au fond continu est donnée par le tableau II ci-dessous (on choisit pour cette mesure, des pics caractéristiques n'étant pas parasités par l'un des pics d'un autre minéral également présent dans l'échantillon).

Tableau II

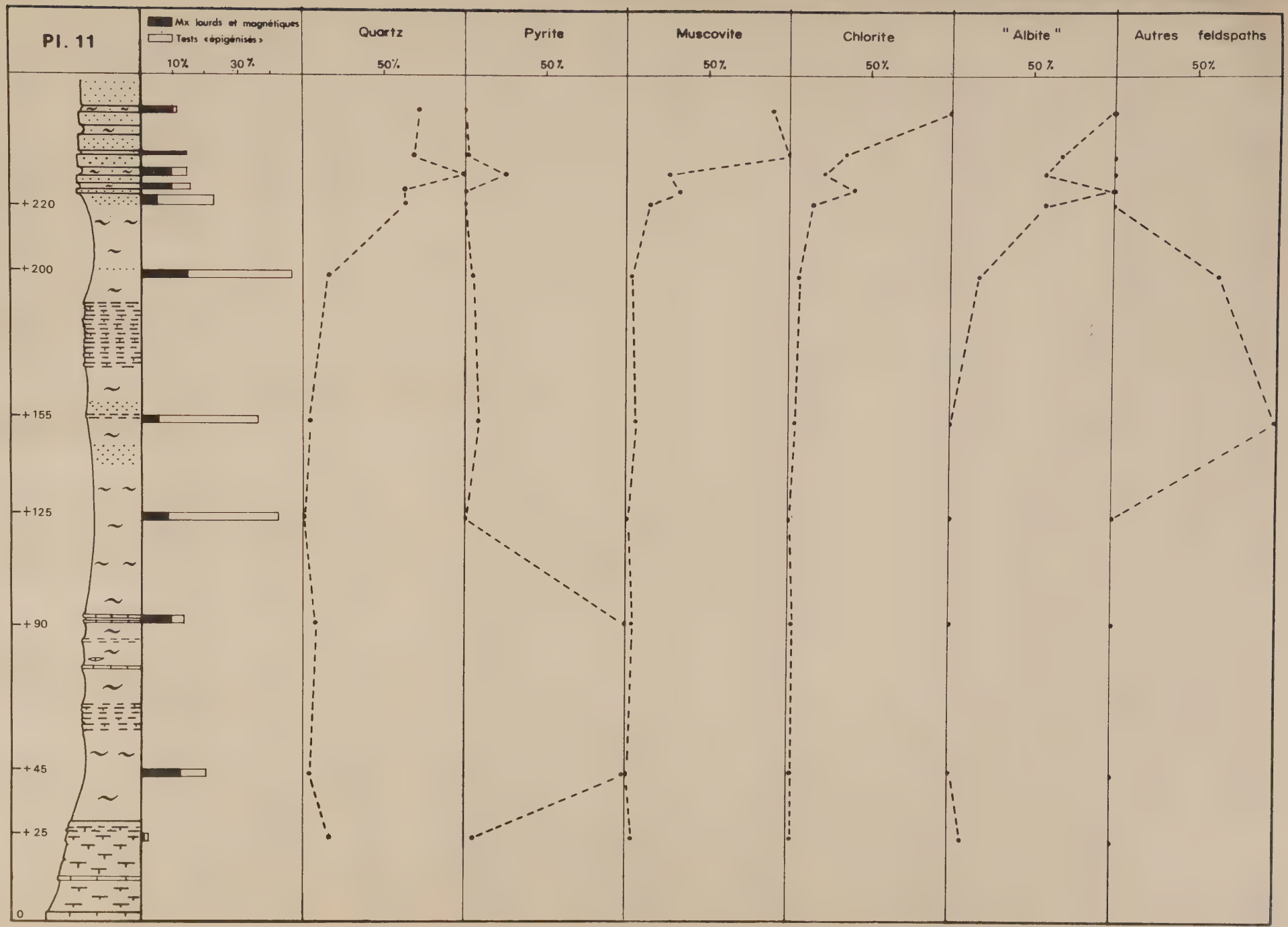
| niveaux et cotes | quartz | pyrite | muscovite | chlorite | "albite" | autres feldspaths |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Dernière passée marnes gréseuses | 16 | 0 | 75 | 40 | 37 | 0 |
| 3e passée marnes gréseuses | 15 | 1 | 84 | 14 | 25 | 0 |
| 2e passée marnes gréseuses | 22 | 10 | 22 | 9 | 22 | 0 |
| 1re passée marnes gréseuses | 14 | 0 | 27 | 16 | 37 | 0 |
| + 220 | 14 | 0 | 12 | 6 | 25 | 0 |
| + 200 | 4 | 2 | 2 | 2 | 7 | 9 |
| + 156 | 1 | 3 | 5 | 1 | 0 | 14 |
| + 125 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| + 90 | 2 | 40 | 2 | 1 | 0 | 0 |
| + 45 | 1 | 39 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| + 25 | 4 | 2 | 1 | 1 | 3 | 0 |

### 2) Construction graphique

Dans un même échantillon, les valeurs graphiques du diffractogramme, ne sont pas comparables de minéral à minéral. Par contre, on peut établir des relations entre les différentes teneurs d'une même espèce minérale dans des échantillons différents.

Pour chaque minéral, on retient la valeur absolue du pic le plus élevé dans la série d'échantillons traités : cette valeur représente arbitrairement cent unités. Les autres valeurs de ce même minéral, pour chaque échantillon, sont indexées par rapport à cette valeur la plus élevée.

Ces valeurs sont représentées sur un graphique (Pl. 11) ; ce qui permet de mettre en évidence les variations des teneurs de chaque minéral tout au long de la coupe.




Pl 11 - Evolution des teneurs (indexées) des principaux minéraux

Remarques

-- On constate la présence de quartz et de feldspaths, minéraux ni lourds ni magnétiques, dans la fraction étudiée ; cela s'explique par le fait que :

- le quartz est associé à des minéraux magnétiques,
- les feldspaths deviennent magnétiques à 2 A.

-- Le groupe des feldspaths est mal individualisé : les pics petits et difficilement interprétables traduisent la faible teneur des représentants de ce groupe ; nous n'avons pu différencier qu'un plagioclase acide qui est probablement une albite de basse température (de composition voisine de celle des oligoclases).

-- Des minéraux tels que le spinelle, l'ilménite et la gibbsite ont été reconnus uniquement à l'état de traces et ne sont pas figurés ni dans le tableau ni sur la planche.

-- A la cote + 125 aucun minéral n'apparaît sur les diffractogrammes ; les pics sont "étouffés" par la présence de 90 % de limonite amorphe déterminant un dôme caractéristique. Cette limonite amorphe provient très probablement de l'oxydation de pyrite. Cet échantillon n'a pu être prélevé que dans des marnes très altérées et l'oxydation du sulfure de fer est très certainement d'origine météorique récente. Nous considérerons donc cet échantillon, comme riche en pyrite.

3) Discussion

La pyrite est très abondante dans la base des Marnes bleues jusqu'à la cote + 125 environ ; notons que dans ces niveaux, elle remplit bon nombre de tests de Foraminifères.

Elle a tendance, ensuite, à disparaître quand le détritisme manifeste sa présence par l'apparition des premiers feldspaths (cote + 156 à + 220 environ) (voir tableau II ci-dessus).

Dans les marnes gréseuses (cote + 220), on note la présence d'un cortège minéral tout à fait différent : en effet, le quartz, la muscovite, la chlorite et l'"albite" apparaissent ici très nettement tandis qu'ils étaient très peu représentés dans les Calcaires intermédiaires et pratiquement dans toute l'assise des Marnes bleues. Ces minéraux semblent donc covariants dans le même sens.

Nous noterons donc un certain antagonisme entre ce cortège minéral et la pyrite, encore que celle-ci réapparaisse dans un joint marneux des grès.

La pyrite est considérée comme un indicateur de conditions réductrices dans le milieu où elle apparaît.

Les sédiments du Ruch ont pu, tout d'abord, se déposer dans un milieu à tendance réductrice, donc plus ou moins confiné sous faible niveau d'énergie ; cette tendance disparaît vers la cote + 125 environ.

Au-dessus, les premiers témoins du détritisme mettent en évidence, une augmentation du niveau d'énergie, par conséquent une meilleure aération du milieu qui empêcherait les conditions réductrices de se poursuivre.

L'arrivée des grès avec leur cortège minéral est l'aboutissement de cette évolution.

## C. - CONCLUSION

Notons que D.J. STANLEY [136] qui a étudié les minéraux lourds des Grès d'Annot au niveau du Ruch, a rattaché cette coupe à une zone "nord-occidentale" caractérisée par la présence de grenats, de minéraux résistants et d'apatite (G.R.A.).

Notre travail préliminaire ne nous a pas permis de mettre en évidence la présence de ces minéraux dans les Marnes bleues et dans les marnes gréseuses de la formation des Grès d'Annot dans notre coupe. Seules quelques tendances ont pu être dégagées.

Des conditions réductrices présentes dans les Calcaires intermédiaires et dans la base des Marnes bleues disparaissent dès les premières manifestations détritiques. L'augmentation du niveau d'énergie qui a permis l'apport des particules détritiques, entraîne un brassage des eaux qui s'aérent, réalisant ainsi des conditions plus oxydantes qui persistent jusque dans les grès.

## III. - MICROFACIES

L'étude des microfaciès s'intéresse aux deux types de sédiments indurés que l'on rencontre dans la coupe du Ruch : les niveaux calcaires d'abord puis les niveaux gréseux.

### A. - NIVEAUX CALCAIRES INDURES

Nous avons ainsi examiné de bas en haut :

- un niveau dans la partie sommitale des Calcaires nummulitiques,
- sept niveaux dans les Calcaires intermédiaires (cotes +1, +8, +10, +13, +20, +24 et +28),
- six niveaux calcaires inclus dans les Marnes bleues aux cotes +76, +85, +91 (deux bancs espacés de 0,50 m) et +92 (deux bancs espacés de 0,30 m).

#### 1) Observations

La matrice de tous les niveaux étudiés est micritique.

Les éléments figurés sont assez abondants par rapport au ciment au sommet des Calcaires nummulitiques et dans les Calcaires intermédiaires (wackestone), mais leur nombre diminue dans les niveaux indurés des Marnes bleues (mudstone), encore que le dernier banc étudié montre une légère augmentation du nombre de ces éléments (wackestone).

Tous ces niveaux sont des calcarénites.

##### a) éléments minéraux

Le quartz détritique est toujours présent dans les échantillons étudiés. La taille du grain moyen augmente régulièrement de 50 microns à 125 microns depuis la base des Calcaires intermédiaires jusqu'à leur sommet. Au-dessus, le même phénomène se reproduit dans l'ensemble des bancs indurés des Marnes bleues où le grain moyen passe régulièrement de 75 microns à 100 microns. Les grains sont anguleux dans tous les niveaux. De plus, des grains arrondis apparaissent aux cotes +20, +24 et +76.

La calcite détritique est constante et abondante.

Les oxydes et les sulfures de fer sont toujours présents, néanmoins les cotes +10, +85 et +91 montrent une richesse particulière en fer oxydé, tandis que le sulfure de fer domine aux cotes +13 et +92 (dans le dernier banc).

La glauconie est présente dans tous les niveaux, quelquefois même abondante (cotes +10 et +85).

##### b) faune

Il s'agit de bioclastes dont la fréquence varie entre 7 % et 25 %, sauf aux cotes +8 et +85 où elle atteint respectivement 50 % et 40 %.

Des associations faunistiques se différencient tout au long de cette partie inférieure de la coupe :

-- une première association, localisée dans la base des Calcaires intermédiaires, offre une richesse en grands Foraminifères benthiques tels que Nummulites, Discocyclines, Operculines (en particulier à la cote +8), accompagnés de quelques petits Foraminifères benthiques comme les Miliolidae (Quinqueloculina surtout) et de quelques rares formes planctoniques (Globorotalia). Nous avons relevé également des valves d'Ostracodes et des spicules de Spongiaires, ces derniers étant spécialement abondants à la cote +13.

-- une deuxième association, restreinte au sommet des Calcaires intermédiaires, offre qualitativement le même assemblage que les niveaux précédents ; mais le nombre des grands Foraminifères benthiques a nettement diminué. A cet assemblage s'ajoutent des radioles d'Oursins et des débris de Lamellibranches.

-- une troisième association, localisée dans les niveaux indurés des Marnes bleues, marque un remplacement des différents groupes. Les Nummulites disparaissent totalement des sédiments. Les Discocyclines, les Operculines et les Miliolidae existent encore mais leur nombre est très réduit. Par contre, les Nodosariidae sont bien représentés et les formes planctoniques se développent largement surtout à la cote +85. Ces niveaux renferment également quelques petits Radiolaires, Gastéropodes et radioles d'Oursins.

La grande majorité des bancs étudiés montre des bioturbations dans toute leur masse.

2) En résumé

La matrice ne varie pratiquement pas dans l'ensemble des niveaux examinés. Le cortège minéral (quartz, calcite, fer et glauconie) reste aussi quasiment constant.

Par contre, le nombre de bioclastes a tendance à diminuer de bas en haut, principalement au passage Calcaires intermédiaires-Marnes bleues. De plus, l'assemblage faunistique présente des variations qualitatives : les petits Foraminifères benthiques en premier lieu, puis les formes planctoniques succèdent aux grands Foraminifères benthiques de la partie basale de la coupe.

Tous les niveaux calcaires de la coupe du Ruch sont des biomicrites à Foraminifères.

## B. - NIVEAUX GRESEUX

Nous avons étudié, d'une part quatre niveaux dans le membre basal, rubané, de la formation des Grès d'Annot, qui se biseaute vers l'Est : soit de bas en haut, les bancs $G_1$, $G_2$, $G_3$ et $G_4$, épais d'une quinzaine de centimètres en moyenne à l'endroit du prélèvement ; d'autre part, la portion basale du banc massif sus-jacent $G_5$.

1) Observations

a) le membre rubané

Le ciment, rare, est argileux et légèrement ferrugineux.

Dans l'ensemble les grains de quartz et de feldspath (plagioclase et orthose) dominent largement. Les micas sont aussi bien représentés avec la dominance plus fréquente de la muscovite (en agrégat dans le banc $G_1$). On trouve également quelques grains de glauconie, des traces d'oxyde de fer et des débris ligniteux (abondants dans le banc $G_5$).

Le banc $G_4$ se différencie de cet ensemble dans sa composition par la présence de feldspaths perthitiques, de chlorite, de quelques rares grenats (4) et de débris anguleux de hornblende.

La granulométrie varie selon les niveaux. Les bancs $G_1$ et $G_3$ ont un grain moyen très fin, de l'ordre de 50 microns alors que les bancs $G_2$ et $G_4$ présentent des grains plus grossiers de l'ordre de 500 microns en moyenne. Le grain maximum varie de 6 mm à la base à 1 mm au sommet du banc $G_4$.

De plus, de fins rubanements, soit horizontaux, soit obliques, s'observent sur les bancs $G_1$ et $G_3$, créant ainsi une alternance parfois régulière de lits clairs et de lits sombres, ces derniers étant colorés par des hydroxydes, peut-être limonitiques (en particulier pour le banc $G_1$).

Aucun bioclaste n'a été relevé dans l'ensemble de ces bancs.

b) le banc massif

La matrice est un ensemble d'éléments fins de calcite microcristalline, d'argile, de débris ligniteux et ferrugineux. A l'intérieur de cette matrice, des cristaux de carbonate de calcium (rhombœdriques) de néoformation se sont développés localement.

Le quartz est le représentant essentiel des éléments figurés ; il est accompagné de calcite détritique, de micas (muscovite et biotite) quelquefois altérés (séricite) de rares grenats (4) et peut-être de sphène.

Comme dans le membre sous-jacent, aucun débris d'organisme n'a été observé dans le banc massif.

Ce banc massif est un grès feldspathique assez grossier.

---

(4) - Ce qui confirme les travaux de D.J. STANLEY [136]

Notons qu'au Ruch même, la partie inférieure des Grès d'Annot présente une alternance plus ou moins fréquente de rythmes (grossiers à fins) sédimentaires et de diasthèmes.

2) En résumé

C'est donc une alternance de granulométries fine et plus grossière, parfois rythmique, se retrouvant à l'échelle du banc (litages) et du membre (silts et grès) et évoluant, dans l'ensemble, d'un terme fin vers un terme plus grossier, que nous avons mis en évidence dans cette étude.

## B. - CONCLUSION

L'étude des niveaux calcaires de la coupe du Ruch nous montre donc la présence constante d'une biomicrite à Foraminifères avec relais successifs des groupes d'organismes. Par conséquent, l'évolution notée ici se traduit essentiellement dans la microfaune.

Par contre, une modification très nette se produit au niveau des Grès d'Annot. Les bioclastes ont totalement disparu. L'arrivée massive d'éléments détritiques plus ou moins grossiers implique une augmentation assez brutale et importante de la compétence des courants d'apports, compétence qui était très réduite dans les Marnes bleues. Ce phénomène nous permet d'envisager le dépôt de ces sédiments sableux dans la région frontale d'un appareil fluviatile.

Les alternances granulométriques successives que nous retrouvons à des échelles différentes, aussi bien à celle de la formation qu'à celle du banc, nous incite à penser avec L. YAPAUDJIAN [148] entre autres, que le membre rubané de la formation des Grès d'Annot, dans notre secteur, pourrait être un dépôt de talus prodeltaïque.

Le membre complexe d'Annot constitué de bancs massifs jointifs qui surmonte toujours les séquences rubanées plus ou moins développées, n'apparaît que sur une très faible épaisseur dans notre coupe, par suite de l'érosion. Mais il est bien représenté à proximité du Ruch où son épaisseur atteint 80 m, comme nous l'avons déjà signalé dans le chapître I. Il n'est pas interdit de penser que ce membre formé de bancs massifs représente alors des dépôts de plateforme deltaïque [148].

# CHAPITRE III : ETUDE MICROPALEONTOLOGIQUE

## I. - FORAMINIFERES

I. METHODES DE LABORATOIRE

II. ETUDE STRATIGRAPHIQUE

A. - GRANDS FORAMINIFERES BENTHIQUES

B. - FORAMINIFERES PLANCTONIQUES

C. - CONFRONTATION DU PLANCTON AVEC LES NUMMULITES ET CONCLUSION

III. ETUDE STATISTIQUE

A. - GENERALITES

B. - APPLICATION A LA COUPE DU RUCH

C. - LES FORAMINIFERES PLANCTONIQUES

## II. - OSTRACODES

I. - ETUDE STRATIGRAPHIQUE

II. - ETUDE ECOLOGIQUE

III. - CONCLUSION

## III. - LE NANNOPLANCTON

I. - PREPARATION

II. - RESULTATS

A. - FORMES REMANIEES

B. - FORMES TERTIAIRES

III. - CONCLUSION

## IV. - PALYNO-PLANCTOLOGIE

I. - PREPARATION

II. - RESULTATS

A. - ELEMENTS ORGANIQUES FIGURES

B. - POLLENS ET SPORES

C. - DINOPHYCEES

III. - INTERPRETATIONS

A. - EVOLUTION DES CONDITIONS DE DEPOTS

B. - VARIATION CLIMATIQUE

C. - ATTRIBUTIONS STRATIGRAPHIQUES

IV. - CONCLUSION

# I. - FORAMINIFERES

Dans l'ensemble lithologique Calcaires intermédiaires et Marnes bleues, 98 échantillons ont été prélevés en continu. Nous y avons ajouté 7 échantillons ponctuels dans les joints marneux des Grès d'Annot. C'est donc un lot de 105 échantillons qui a été destiné à l'étude des Foraminifères.

## I. METHODES DE LABORATOIRE

### 1) Préparation des échantillons

Les différents échantillons provenant du terrain sont séchés à l'étuve, la température ne dépassant pas 100° C de façon à ne pas cuire les argiles. Ils sont ensuite pesés afin de connaître le poids de l'échantillon sec qui sera traité et à partir duquel seront faits les calculs statistiques.

Les échantillons sont immergés dans du pétrole pendant 12 heures au moins ; puis le pétrole est remplacé par une solution aqueuse de 10 % de thiosulfate de sodium dans laquelle les échantillons trempent pendant 48 heures environ.

Si la désagrégation de la roche n'est pas satisfaisante au bout de ce laps de temps, nous avons recours à l'action combinée de cette solution et de l'eau oxygénée : nous ajoutons alors une certaine quantité d'eau oxygénée technique à 130 volumes en prenant soin après cette addition de vérifier le pH de la solution qui doit rester toujours basique sous peine de dégradation des tests (si la solution se révèle trop acide on la neutralise avec de l'ammoniaque). De toute façon pour pallier l'inconvénient de l'agressivité de $H_2O_2$ à 130 volumes, on limite le temps de la réaction à 30 minutes. Malgré ces différents traitements, il arrive que quelques morceaux résistent encore à la désagrégation ; on peut alors avoir recours à une presse hydraulique pour les faire éclater en éléments de taille voisine de 1 $cm^3$ sur lesquels on recommence l'attaque.

L'échantillon ainsi désagrégé, plus ou moins réduit à l'état de boue, est lavé à l'eau courante alternativement chaude et froide, sur une colonne de 6 tamis :

- maille de 2,5 mm,
- maille de 1 mm,
- maille de 400 microns,
- maille de 200 microns,
- maille de 125 microns,
- maille de 80 microns.

Dans le cas de sédiments tendres ou bien désagrégés, le refus le plus grossier (grains de taille supérieure à 2,5 mm) peut ne pas exister.

Les Foraminifères adultes, à quelques exceptions près, ont une taille supérieure ou égale à 180 microns. Ces exceptions nous obligent à utiliser une maille assez fine pour pouvoir nous réserver une marge de sécurité. Cette maille a été fixée à 80 microns.

Pour augmenter la propreté des tests, nous utilisons la méthode des mouillants cationiques de R. VERNIORY [146], perfectionnée à Lyon par G. CARBONNEL et al. [54] : chaque refus est agité dans une fiole Erlenmeyer contenant une solution à 10 % de Bradosol (5). Les refus sont ensuite rincés sur la colonne de tamis initiale puis séchés à l'étuve ; après quoi, ils sont prêts à être observés sous la loupe binoculaire.

---

(5) Le Bradosol, produit des laboratoires CIBA-GEYGY (Bâle), est un mélange de différents sels et hydrates d'ammonium quaternaire.

2) Observations des échantillons

Les grains de taille supérieure à 1 mm sont triés directement à l'œil nu avec une pince de Brucelle et sont éventuellement observés à la loupe binoculaire. Les grains de taille comprise entre 1 mm et 400 microns sont observés sous stéréo-microscope Leitz à oculaire 10 et objectifs 1, 2, 4. Les grains de taille comprise entre 400 microns et 80 microns sont observés sous un stéréo-microscope Zeiss IV à oculaires 10 ou 25 et objectif Zoom de 0,8 à 4.

Après coloration au vert d'iode, les tests choisis pour illustrer un ensemble faunistique ont été photographiés avec une chambre Zeiss (6).

La majorité des tests adultes ont une taille supérieure ou égale à 180 microns, le refus le plus fin (80 microns) est essentiellement constitué de tests juvéniles dont les caractères morphologiques ne sont pas encore définitifs et de quelques tests nains. Le plus souvent ces individus ne sont pas utilisables en vue d'une détermination exacte par conséquent, ce refus n'a été observé que pour la recherche d'espèces très particulières, adultes de cette taille.

## II. ETUDE STRATIGRAPHIQUE

Lorsque l'on considère tous les groupes de Foraminifères, on sait que ce sont les organismes planctoniques qui fournissent la zonation biostratigraphique la plus valable.

Toutefois, les grands Foraminifères benthiques permettent aussi de faire des attributions stratigraphiques ; celles-ci ne sont malheureusement pas toujours en corrélation avec les échelles de marqueurs planctoniques.

Par ailleurs, l'ensemble des petits Foraminifères benthiques devrait permettre, lui aussi, puisqu'il évolue, de faire un découpage biostratigraphique. Ce découpage n'est cependant valable que pour séparer entre eux des ensembles d'assez longue durée car ces groupes évoluent lentement. Nous avons besoin, pour la datation de notre coupe, d'un système biostratigraphique à découpage très fin dans l'intervalle Lutétien-Oligocène, ce qui explique que seul le plancton soit utilisable dans ce but.

Néanmoins, si les petits Foraminifères benthiques ne permettent pas de donner des attributions stratigraphiques fines, leur grande sensibilité aux conditions physico-chimiques (en particulier bathymétrique) régnant dans le milieu de vie permet de caractériser, grâce à des associations faunistiques, certains niveaux écologiques dans les sédiments.

Un même niveau caractérisé par un ensemble faunistique pourra, bien entendu, être hétérochrone dans les différents secteurs du bassin étudié, en particulier lorsque l'on a affaire à des séries transgressives (comme c'est le cas au Tertiaire dans la région qui nous intéresse).

C'est donc dans le but essentiel de mettre en évidence des niveaux écologiques différents que nous avons tenté de dégager des ensembles faunistiques caractéristiques du benthos, dans les sédiments tertiaires de la région d'Annot. Les résultats ont été publiés [28] et comme aucune étude stratigraphique supplémentaire n'a été effectuée sur ces formes, nous renvoyons le lecteur à cette publication. Nous retrouverons néanmoins ce benthos de petite taille dans les associations les plus caractéristiques que nous avons déterminées dans la coupe et que nous figurons sur les planches photos

En ce qui concerne les attributions stratigraphiques nous nous référerons donc aux grands Foraminifères benthiques (Nummulites) d'une part et aux Foraminifères planctoniques d'autre part.

### A. - GRANDS FORAMINIFERES BENTHIQUES

Ils apparaissent essentiellement localisés dans la partie basale de la coupe. Rappelons, à ce propos, qu'aux échantillons des Calcaires intermédiaires prélevés en continu, s'ajoutent 7 échantillons recueillis ponctuellement dans les Calcaires nummulitiques.

Nous avons relevé dans les Calcaires intermédiaires des Discocyclines, des Hétérostégina, des Spiroclypeus, des Operculines. Ces formes permettent de placer les couches qui les contiennent au passage Eocène moyen - Eocène supérieur et dans l'Eocène supérieur sans plus de précision. Nous ne considérerons donc ces formes que d'un point de vue écologique.

Par contre, les Nummulites présentes dans les Calcaires nummulitiques et dans les Calcaires intermédiaires, apportent de meilleurs renseignements stratigraphiques ; leur répartition est donnée par la planche 12.

---

(6) chambre Zeiss 9 x 12 (pour plaques ou planfilms) avec objectifs Luminar :
- 40 mm (faune entière)
- 25 mm (extrait de faune)
- 25 et 16 mm (individuel).

1) Discussion

a) zonation classique reconnue

Au colloque de Paris en 1968, A. BLONDEAU et al. [ 34] ont tenté une zonation du Tertiaire des Alpes du Sud. Nous donnons ici les associations de Nummulites qu'ils y ont reconnues.

-- Zone A caractérisée par :

N. variolarius
N. millecaput
N. perforatus et variétés
N. brongniarti (et var. puschi)
N. striatus
N. praefabianii

Cette zone serait l'équivalent du Lutétien supérieur du bassin Parisien ou de l'Aquitaine (calcaire de Peyrehorade, de Sorde, falaises de Handia à Biarritz).

-- Zone B caractérisée par :

N. perforatus
N. brongniarti
N. striatus
N. striatus var. irregularis *
N. praefabianii
N. chavannesi *
avec Chapmanina gassinensis *

La zone B s'est avérée être dans les Alpes-Maritimes une zone de transition entre le Lutétien supérieur et l'Eocène supérieur caractérisés.

-- Zone C caractérisée par :

N. striatus
N. praefabianii
N. chavannesi
N. fabianii *
N. garnieri *
N. incrassatus *
N. bouillei *

La zone C correspondrait à l'Eocène supérieur.

Nous rappelons que, selon les recommandations du Colloque de l'Eocène, les zones B et C constituent le Priabonien s.l.

Remarque :

chaque zone est donc définie par la présence d'une association de formes et non par des espèces restreintes à l'intervalle de temps qui correspond à la zone considérée. Il nous faut cependant tenir compte de la première apparition de chaque espèce pour pouvoir limiter valablement ces intervalles. Nous avons voulu mettre en exergue les espèces qui apparaissent pour la première fois dans une zone déterminée caractérisant ainsi sa limite inférieure. C'est pourquoi, dans les listes données par A. BLONDEAU et al., nous avons affecté ces espèces d'un astérisque.

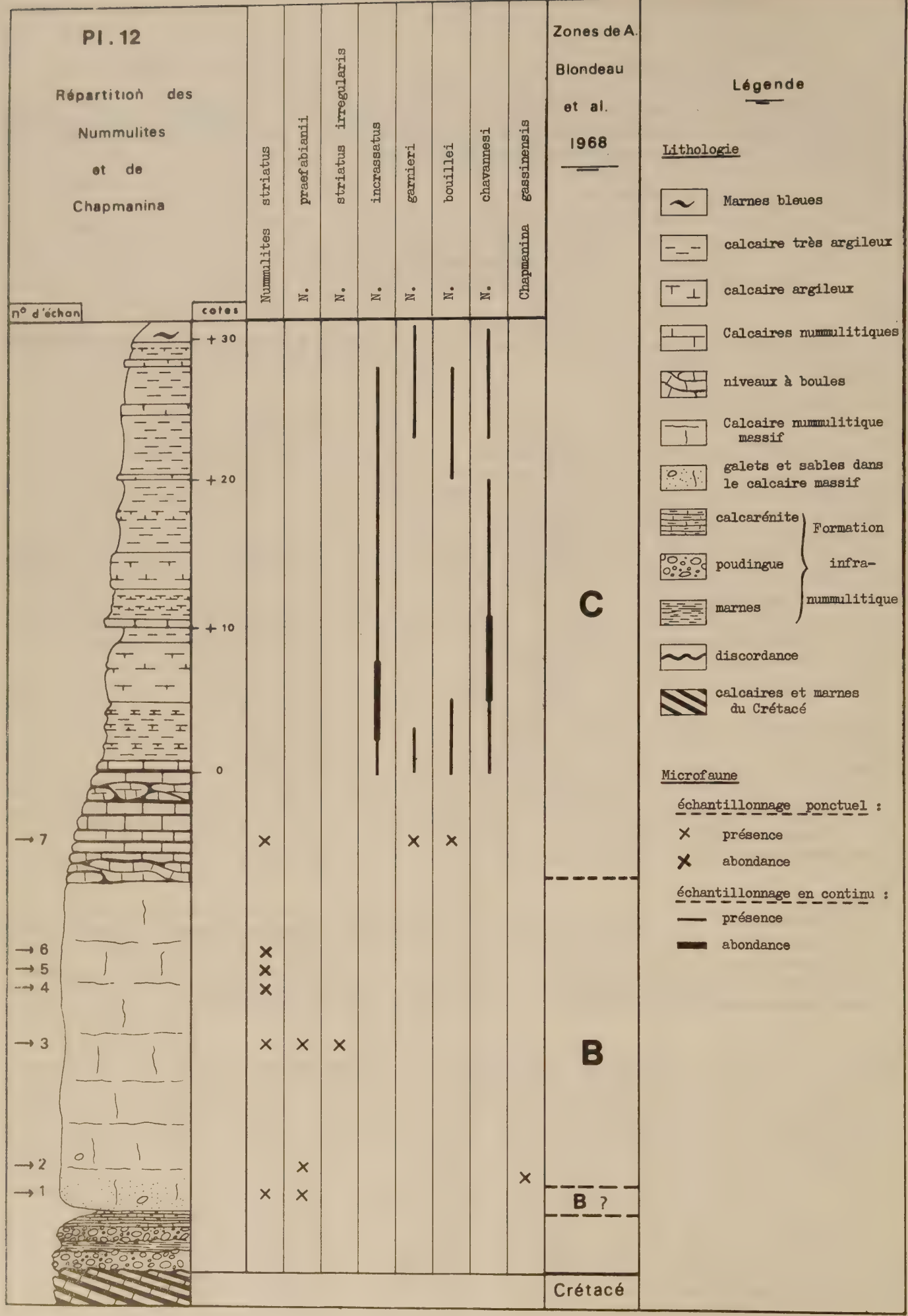
b) zonation de la coupe du Ruch

La zone A de A. BLONDEAU et al. est caractérisée par un cortège de grandes Nummulites limitées à cette zone et par deux petites formes (N. striatus et N. praefabianii) que l'on retrouve dans la zone B. Or, dans les sédiments du Ruch, seules les petites formes précitées sont présentes dans la base des Calcaires nummulitiques. Nous sommes donc déjà probablement en zone B. L'âge de ces niveaux inférieurs à notre coupe du Ruch doit cependant être envisagé, avec beaucoup de précaution.

Deux formes, N. striatus irregularis et Chapmanina gassinensis, semblent, d'après la liste ci-dessus, restreintes à la zone B - zone de transition entre le Lutétien supérieur et le Priabonien (appelé encore Auversien de BOUSSAC) - alors que parmi les autres espèces du cortège caractérisant cette zone, certaines sont héritées de la zone A, tandis que d'autres annoncent celles de la zone C. La zone B est donc une zone charnière, un relais entre la zone A et la zone C. Dans les sédiments du Ruch, les deux espèces restreintes à cette zone B apparaissent dans les échantillons 2 et 3 des Calcaires nummulitiques (Pl. 12). Nous sommes donc, de façon certaine, dans cette zone B dès le deuxième échantillon des Calcaires nummulitiques.

# Pl. 12

Répartition des Nummulites et de Chapmanina



De plus, l'abondance de N. striatus, particulièrement marquée dans les échantillons 4, 5 et 6 des Calcaires nummulitiques, qui caractérise l'Auversien, d'après A. BLONDEAU, confirme donc la présence de cette zone B jusqu'à l'échantillon 6 inclus.

Enfin, dans l'échantillon 7 des Calcaires nummulitiques existent deux espèces (N. bouillei et N. garnieri) dont l'apparition caractérise la zone C (correspondant à l'Eocène supérieur).

Dans la base des Calcaires intermédiaires on note la présence de N. incrassatus et N. chavannesi, déjà bien représentées en individus. Ce sont des petites formes dont l'abondance caractérise le Priabonien [33]. Ces formes sont dans l'ensemble présentes jusqu'à la fin des Calcaires intermédiaires.

Nous pouvons donc admettre que le Priabonien certain (zone C) apparaît déjà dans le sommet des Calcaires nummulitiques, qu'il se confirme et se poursuit dans les Calcaires intermédiaires.

Au-dessus, dans les Marnes bleues, les Nummulites disparaissent ; or, l'étude statistique que nous développons plus loin, nous a permis de déceler déjà dans les Calcaires intermédiaires (cote +3 environ), une nette régression de ces formes. Cette régression est probablement due à l'évolution des conditions de milieu dans un sens défavorable aux Nummulites. Il ne nous est donc pas possible de poursuivre la datation de la coupe du Ruch en termes de Nummulites.

Nous serions donc en mesure de dater les assises sous-jacentes de la partie basale de la coupe en termes de Nummulites d'après les publications de A. BLONDEAU et al. [34] et A. BLONDEAU [33] au cours du colloque de Paris en 1968. Toutefois, une note plus récente, du même auteur en 1971 [32] présente un tableau qui remet légèrement en question la position de la limite Lutétien-Priabonien (7). Il faut cependant remarquer que A. BLONDEAU ne discute pas de problèmes stratigraphiques mais propose seulement, dans son article, une "esquisse phylogénétique des Nummulites".

En ce qui nous concerne, nous estimons que l'attribution aux zones B et C, définies d'ailleurs dans la région, rend mieux compte des divisions réelles de notre coupe.

### 2) Conclusion

La zone de transition entre le Lutétien supérieur et l'Eocène supérieur, définie dans les Alpes-Maritimes par A. BLONDEAU et al., se retrouve au Ruch dans la majeure partie des Calcaires nummulitiques. Le Priabonien certain commence au sommet des Calcaires nummulitiques et se poursuit dans la totalité des Calcaires intermédiaires. C'est tout ce que les Nummulites de la coupe du Ruch nous permettent d'affirmer car, comme nous l'avons vu, ces formes disparaissent dans les Marnes bleues.

Ces conditions écologiques qui semblent défavorables aux Nummulites, permettent aux Foraminifères planctoniques d'amorcer leur développement et d'assurer leur progression dans le bassin. Ces formes prennent donc le relais et nous donnent la possibilité de tenter d'une part, le découpage biostratigraphique de la coupe (par conséquent d'envisager la datation des couches dans lesquelles ces grands Foraminifères font défaut), d'autre part, le calage de nos différents niveaux caractérisés selon les échelles de Nummulites et de Foraminifères planctoniques.

## B. - FORAMINIFERES PLANCTONIQUES

Nous avons relevé dans la coupe, une microfaune de Foraminifères planctoniques parfois extrêmement riche. La répartition de ces formes est donnée par la planche 13 telle qu'elle a été observée dans les sédiments. Les espèces les plus caractéristiques sont figurées dans les planches 14 et 15.

### 1) Remarques de systématique

a) Dans sa publication de 1969, W. BLOW [37] parle de Globigerapsis mexicana(8) qu'il considère comme synonyme de G. semiinvoluta. Les études récentes de H. BOLLI [41] ont montré que les formes en question étaient des espèces distinctes et que la synonymie devait être abandonnée. En ce qui nous concerne, nous adopterons l'attitude de H. BOLLI dans cette distinction.

b) Les formes rapportées par A.F.M. HAQUE (1956), puis par A.R. LOEBLICH et H. TAPPAN (1964) et enfin par B. Mc GOWRAN (1968), sous le nom de générique de Globanomalina, ont été désignées ici sous le nom initial de Pseudohastigerina, suivant les remarques de W.A. BERGGREN, K. OLSSON et R.A. REYMEMT [23].

---

(7) En particulier N. praefabianii, qui était donnée dans la zone C - définie à l'origine comme Priabonien certain - au colloque de Paris, devient restreinte au Lutétien.

(8) Depuis 1970 le genre Globigerapsis est abandonné pour celui de Globigerinatheka (voir remarque p. 57).

c) H. HAGN et H.G. LINDENBERG [89] proposent de supprimer le genre Globigerinita dans lequel différents auteurs ont classé des Globigérines possédant une bulla (9). Nous suivrons ces auteurs pour ce qui est des formes décrites actuellement sous le nom de Globigerina avec bulla et sans bulla (ex. : Globigerina eocaena). Ce principe ne peut cependant pas être appliqué à un certain nombre de formes qui ont toujours été décrites, à notre connaissance, sous le nom de genre Globigerinita : G. martini martini, G. martini scandretti, G; africana, G. howei, G. pera, etc.. Pour ces espèces, nous conserverons le nom générique "Globigerinita" en la plaçant entre guillemets. Nous ne savons pas en effet, à quelle espèce de Globigerina rattacher ces formes.

2) Système de biozonation

Parmi toutes les espèces de Foraminifères planctoniques, nous avons relevé les espèces "marqueurs de zone" qui permettent de placer la coupe étudiée dans la zonation biostratigraphique classique.

Un marqueur est un organisme repère qui donne son nom à un ensemble de couches sédimentaires appelé zone. Il est choisi car il répond à différents critères :

-- il subit une évolution rapide, ce qui entraîne sa brève extension verticale,
-- il présente une très large répartition géographique,
-- et, en principe, il est indifférent aux variations des conditions physico-chimiques du milieu.

Depuis 1957 surtout, plusieurs auteurs ont établi des échelles biostratigraphiques basées sur ces Foraminifères planctoniques. Actuellement on considère que, en termes de plancton, la zone terminale du Lutétien est la zone à Truncorotaloides rohri et que le Priabonien est divisé en deux parties :

- à la base, zone à Globigerinatheka semiinvoluta,
- au sommet, zone à Globorotalia cerroazulensis s.l.

Il s'agit de la biozonation de l'Eocène établie par H. BOLLI en 1957 et confirmée par le même auteur en 1972.

a) Définition des zones de H. BOLLI (1972) [41]

- Zone à Truncorotaloides rohri :

intervalle qui comprend ce marqueur depuis la dernière apparition de Porticulasphaera mexicana et qui monte jusqu'à la dernière apparition de T. rohri

- Zone à Globigerinatheka semiinvoluta :

intervalle qui comprend ce marqueur depuis son apparition jusqu'à son extinction.

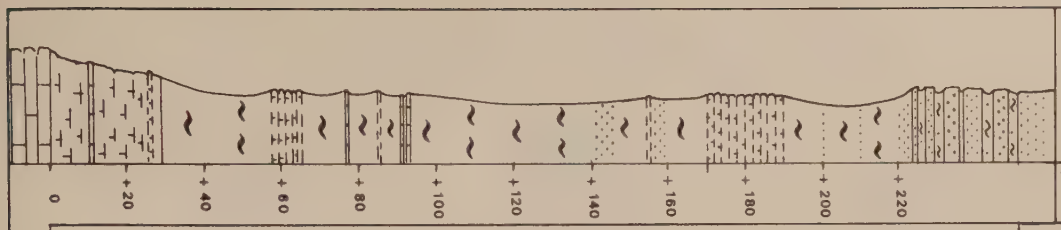
- Zone à Globorotalia cerroazulensis s.l. :

intervalle qui comprend ce marqueur depuis la dernière apparition de G. semiinvoluta jusqu'à la dernière apparition de G. cerroazulensis s.l.

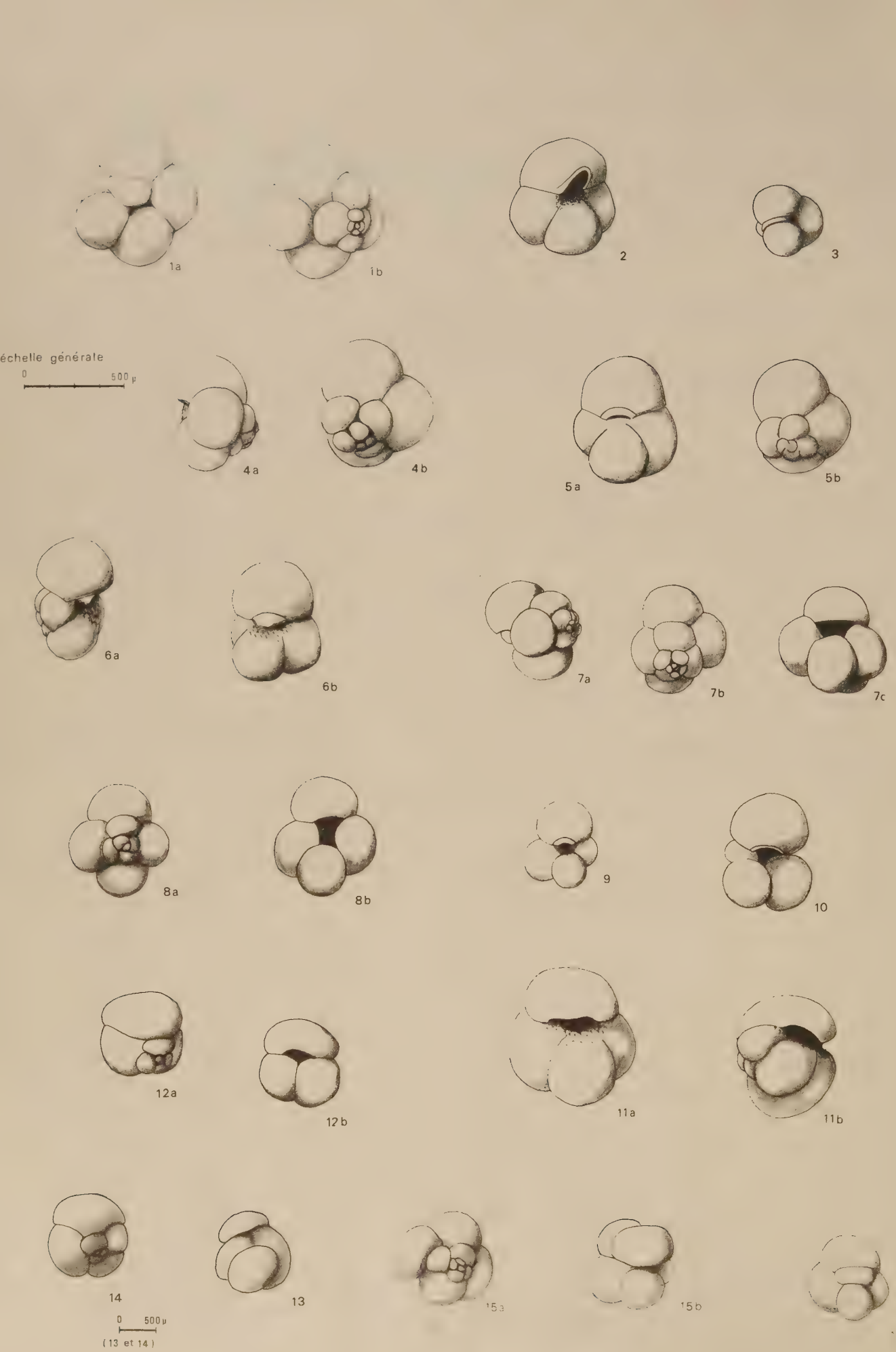
(9) La bulla est une logette supplémentaire qui recouvre la partie ombilicale du test de certains Globigerinidae. Sa présence entrainait autrefois le classement de ces formes dans des genres différents de Globigerina ; actuellement, on pense plutôt que la bulla apparaît chez certaines espèces du genre Globigerina et que cette apparition est liée à des conditions écologiques particulières et / ou à un stade du cycle de développement de ces organismes.

# Pl. 13

REPARTITION
des
FORAMINIFERES
PLANCTONIQUES




Globigerina angustiumbilicata
G. ampliapertura
G. angiporoides
G. corpulenta
G. eocaena
G. galavisi
G. gortanii gortanii
G. gortanii praeturritilina
G. cf. linaperta
G. ouachitaensis ouachitaensis
G. praebulloides leroyi
G. praebulloides occlusa
G. praebulloides praebulloides
G. prasaepis
G. pseudoampliapertura
G. pseudovenesuelana
G. senilis
G. tripartita tripartita
G. venezuelana
" Globigerinita " africana
G. dissimilis
G. globiformis
G. cf. martini martini
G. cf. martini scandretti
G. pera
Globigerinatella index index
G. index tropicalis
G. mexicana barri
G. mexicana mexicana
G. semiinvoluta
G. subconglobata luterbacheri
Globorotalia cerroazulensis cerroazulensis
G. cerroazulensis cocoaensis
G. cerroazulensis cunialensis
G. opima nana
G. permicra
Cribrohantkenina inflata
Hantkenina alabamensis
H. primitiva
H. suprasuturalis
H. thalmanni
Pseudohastigerina micra
P. naguewichiensis


1a
1b
2
3
échelle générale
0 500 µ
4a
4b
5a
5b
6a
6b
7a
7b
7c
8a
8b
9
10
12a
12b
11a
11b
14
13
15a
15b
0 500µ
(13 et 14)

PI. 14

Principales espèces de Foraminifères planctoniques

Pl. 14

1, (a-b) - Globigerina angustiumbilicata BOLLI

2, - Globigerina ampliapertura BOLLI

3, - Globigerina angiporoides HORNIBROOK

4, (a-b) Globigerina corpulenta SUBBOTINA

5, (a-b) Globigerina eocaena GÜMBEL

6, (a-b) Globigerina qalavisi BERMUDEZ

7, (a-b-c) Globigerina gortanii praegortanii (BORSETTI) praeturritilina (BLOW et BANNER)

8, (a-b) Globigerina ouachitaensis ouachitaensis HOWE et WALLACE

9 - Globigerina praebulloides leroyi BLOW et BANNER

10 - Globigérina praebulloides occlusa BLOW et BANNER

11, (a-b) Globigerina prasaepis BLOW

12, (a-b) Globigerina tripartita tripartita KOCH

13 - Globigerina venezuelana HEDBERG

14 - Globigerina pseudovenezuelana BLOW et BANNER

15, (a-b) - Globigerinita africana BLOW et BANNER

16 - Globigerinita dissimilis dissimilis ( CUSHMAN et BERMUDEZ )

Principales espèces de Foraminifères planctoniques (Suite)

Pl. 15

| | | |
|---|---|---|
| 1, (a-b) - | Globigerinatheka index index | ( FINLEY ) |
| 2, (a-b) - | Globigerinatheka index index | ( FINLEY ) |
| 3, (a-b) - | Globigerinatheka index tropicalis | ( BLOW et BANNER ) |
| 4 | Globigerinatheka subconglobata luterbacheri | BOLLI (sans bullae ) |
| 5 | Globigerinatheka subconglobata luterbacheri | BOLLI (avec bullae ) |
| 6, (a-b) | Globigerinatheka cf. mexicana mexicana | ( CUSHMAN ) |
| 7,(a-b) | Globigerinatheka mexicana barri | ( BRONNIMANN ) |
| 8 | Globigerinatheka semiinvoluta | (KEIJZER ) |
| 9 | Globorolalia cerroazulensis cerroazulensis | (COLE ) |
| 10 | Globorolalia cerroazulensis cocoaensis | CUSHMAN |
| 11 | Globorolalia cerroazulensis cunialensis | TOUMARKINE et BOLLI |
| 12, (a-b) | Cribrohantkenina inflata | ( HOWE ) |
| 13 | Hantkenina primitiva | CUSHMAN et JARVIS |
| 14 | Hantkenina alabamensis | CUSHMAN |
| 15 | Hantkenina suprasuturalis | BRONNIMANN |
| 16,(a-b) | Pseudohastigerina micra | ( COLE ) |
| 17,(a-b) | Pseudohastigerina naguewichiensis | ( MYATLIUK ) |

échelle générale
0
1a
1b
2a
2b
4
5
3a
3b
7a
7b
6a
6b
0 125µ
8
9
10
11
12a
12b
0 500µ
13
14
15
16a
16b
(16 et 17)

PI. 15

Tableau III - Zonations de H. BOLLI

| Age | BOLLI - 1972 | BOLLI - 1966 | BOLLI - 1957 |
|---|---|---|---|
| EOCENE SUPERIEUR Priabonien | Globorotalia cerroazulensis s.l. | Globorotalia cerroazulensis | Globorotalia cocoaensis |
| | Globigerinatheka semiinvoluta | Globigerapsis semiinvoluta | Globigerapsis semiinvoluta |
| EOCENE MOYEN Lutétien | Truncorotaloides rohri | Truncorotaloides rohri | Truncorotaloides rohri |

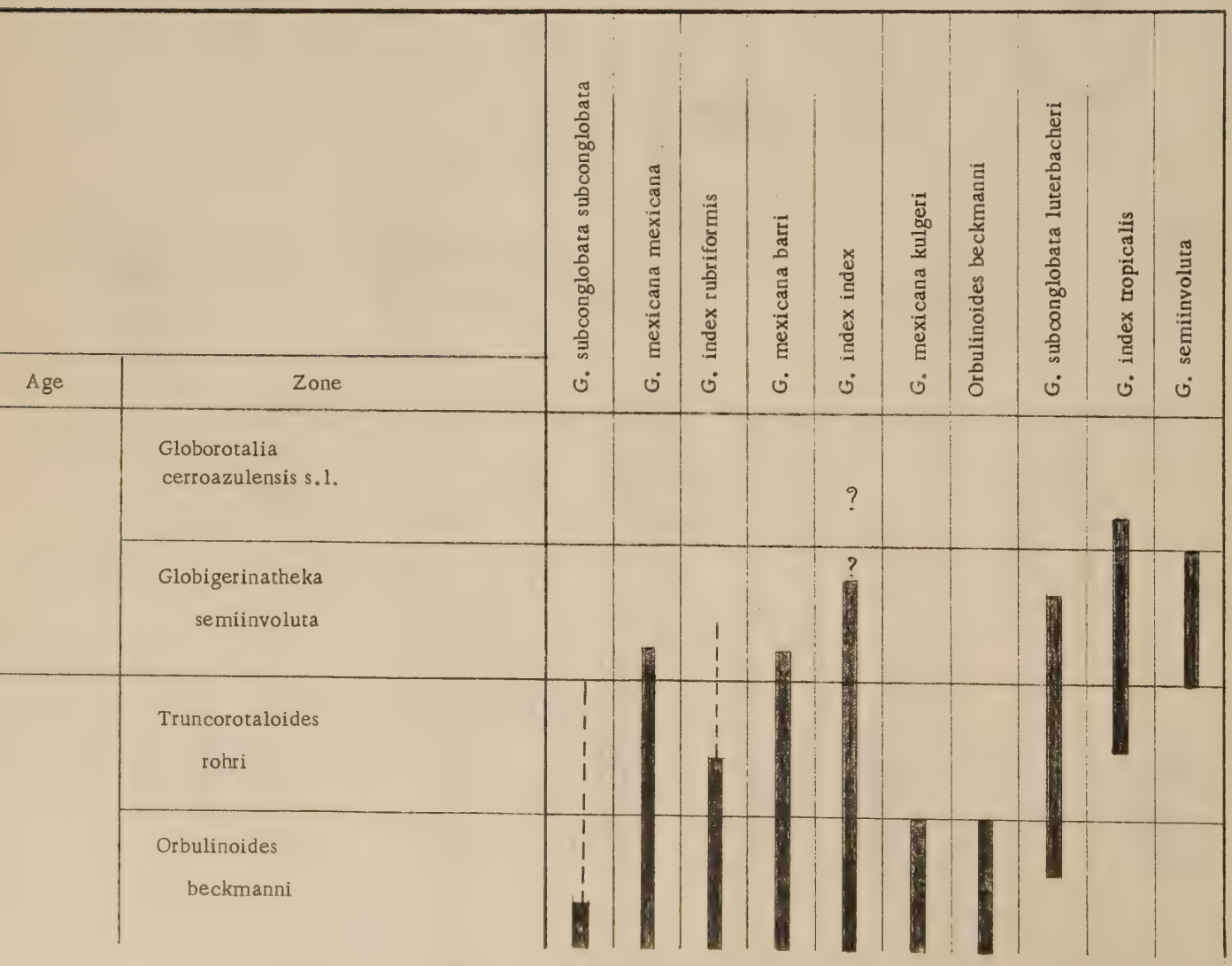
emarque :

La zone à G. cocoaensis (1957) devenue la zone à G. cerroazulensis (1966) est appelée en 1972, à la suite des tudes de M. TOUMARKINE et H. BOLLI de 1970 sur le phyllum du G. cerroazulensis 142 , zone à G. cerroazulensis l. Sa définition ne change pas.

b) On peut atteindre dans cet intervalle une précision plus grande

- tout d'abord avec la répartition stratigraphique des différentes espèces de Globigerinatheka donnée par . BOLLI en 1972 41 ;
- ensuite, avec la zonation de M. TOUMARKINE et H. BOLLI (1970) basée sur les sous-espèces de . cerroazulensis 142 .

∝ - Répartition des Globigerinatheka : (Tableau IV)



D'après ce tableau, nous notons que :

- la plupart des espèces s'éteignent avant la fin de la zone à G. semiinvoluta, en particulier G. mexicana mexicana et G. mexicana barri dont l'extinction marque la partie basale de cette zone ;
- alors que G. index tropicalis disparaît dans la base de la zone à G. cerroazulensis s.l., G. index index pourrait monter plus haut dans cette même zone.

β. La zonation de M. TOUMARKINE et H. BOLLI (1970) est basée, pour l'intervalle qui nous intéresse, sur quatre sous-espèces de G. cerroazulensis dont les apparitions jalonnent le phyllum :

- G. cerroazulensis pomeroli
- G. cerroazulensis cerroazulensis
- G. cerroazulensis cocoaensis
- G. cerroazulensis cunialensis

Définitions

-- zone à G. cerroazulensis cerroazulensis / G. cerroazulensis pomeroli :

intervalle comportant ces marqueurs et compris entre :

- l'apparition de G. cerroazulensis cerroazulensis,
- et l'extinction des formes épineuses de l'Eocène moyen en particulier Truncorotaloides rohri.

Cet intervalle équivaut à peu près à la zone à T.rohri de Trinidad (H. BOLLI, 1957).

-- zone à G. cerroazulensis cerroazulensis :

intervalle comportant ce marqueur et compris entre :

- l'extinction des formes épineuses de l'Eocène moyen, en particulier T. rohri et l'apparition de Globigerinatheka semiinvoluta,
- et l'apparition de G. cerroazulensis cocoaensis.

Cette zone correspond aux parties inférieure et moyenne de la zone à G. semiinvoluta de Trinidad (H. BOLLI, 1957).

-- zone à G. cerroazulensis cocoaensis :

intervalle comportant ce marqueur et compris entre :

- l'apparition du marqueur,
- l'apparition de G. cerroazulensis cunialensis.

Il équivaut à la partie supérieure de la zone à G. semiinvoluta et à la partie inférieure de la zone à G. cocoaensis de Trinidad (H. BOLLI, 1957).

-- zone à G. cerroazulensis cunialensis :

intervalle défini par la présence du marqueur :

- la base étant définie par l'apparition de cette forme,
- le sommet, par son extinction.

Il correspond à la partie supérieure de la zone à G. cocoaensis de Trinidad (H. BOLLI 1957).

Tableau V - Zonations de M. TOUMARKINE et H. BOLLI

| Age | BOLLI - 1972 | TOUMARKINE et BOLLI - 1970 |
|---|---|---|
| EOCENE SUPERIEUR | Globorotalia cerroazulensis s.l. | Globorotalia cerroazulensis cunialensis |
| | | Globorotalia cerroazulensis cocoaensis |
| | Globigerinatheka semiinvoluta | Globorotalia cerroazulensis cerroazulensis |
| EOCENE MOYEN | Truncorotaloides rohri | G. cerroazulensis cerroazulensis / G. cerroazulensis pomeroli |
| | | Globorotalia cerroazulensis pomeroli |
| | Orbulinoides beckmanni | |

La zone à G. cerroazulensis cerroazulensis/G. cerroazulensis pomeroli recouvre la partie supérieure de la zone à T. rohri.

La zone à G. cerroazulensis cerroazulensis (M. TOUMARKINE et H. BOLLI 1970) correspond à la base de la zone à G. semiinvoluta.

La zone à G. cerroazulensis cunialensis (M. TOUMARKINE et H. BOLLI 1970) correspond au sommet de la zone à G. cerroazulensis s.l. (H. BOLLI 1972).

La partie sommitale de la zone à G. semiinvoluta et la partie basale de la zone à G. cerroazulensis s.l. sont recouvertes par la zone à G. cerroazulensis cocoaensis (M. TOUMARKINE et H. BOLLI 1970).

c) Enfin, un troisième auteur W. BLOW propose en 1969 au cours de la conférence de Genève sur les Foraminifères planctoniques [37], une autre zonation dont nous donnons les définitions pour l'intervalle qui nous intéresse (Lutétien - Oligocène) :

-- zone P 15 :

La base de la zone est placée juste dans l'horizon où s'éteint Truncorotaloides rohri. Cette zone s'appelle zone à Globigerapsis semiinvoluta.

-- zone P 16 :

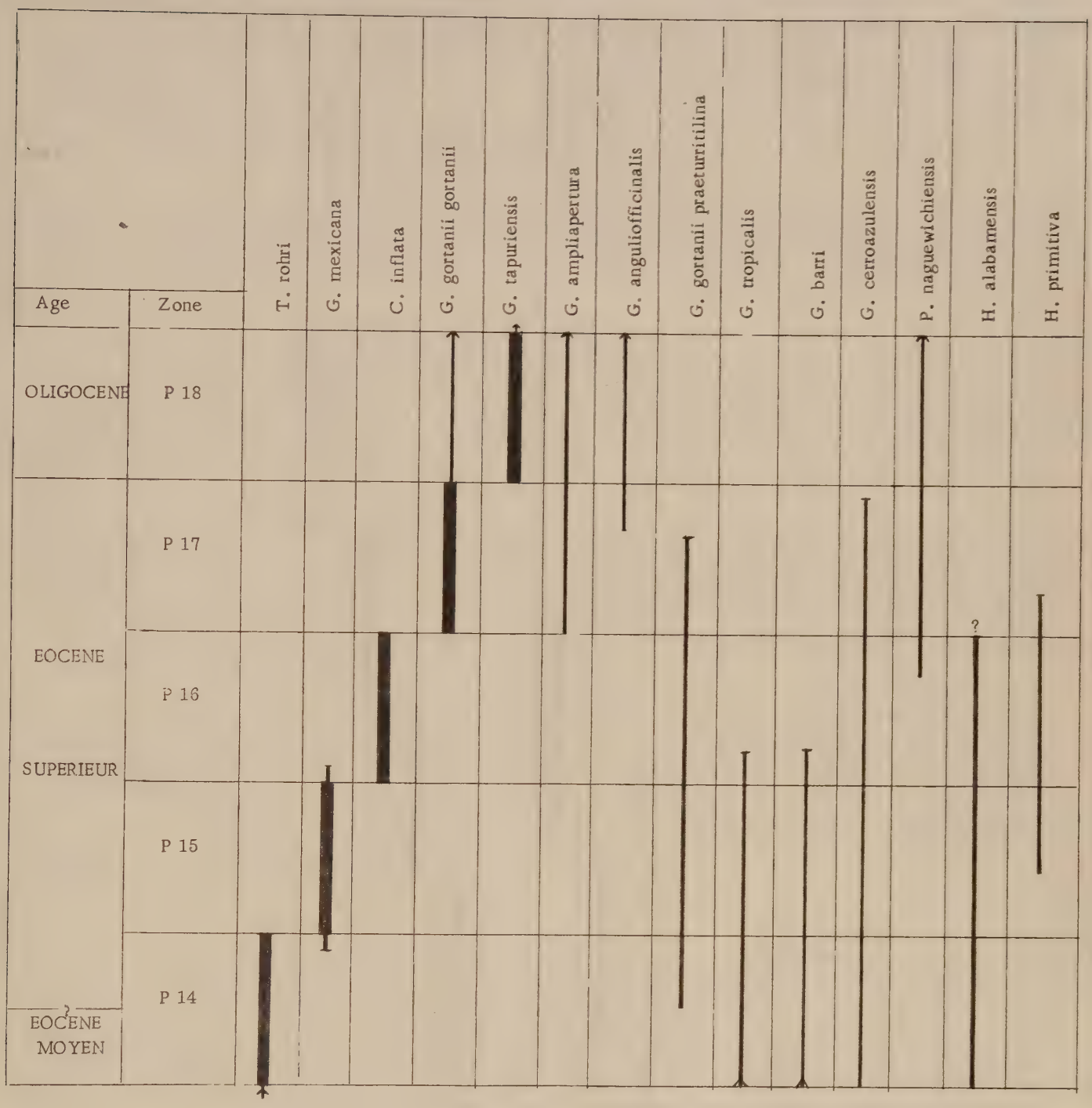
La base de la zone est placée dans l'horizon à partir duquel se développe le genre Cribrohantkenina (avec C. inflata) à partir de Hantkenina alabamensis.

-- zone 17 :

La base de la zone est placée juste dans l'horizon où s'éteint C. inflata. Cette zone se termine quant apparaît le marqueur de P 18 Globigerina tapuriensis.

La répartition de ces marqueurs et de quelques espèces planctoniques de leur cortège, (selon W. BLOW [37], est donnée dans le tableau VI.

Tableau VI - Répartition des marqueurs et de quelques espèces planctoniques selon W. BLOW




En résumé, les définitions des zonations de ces différents auteurs nous permettent d'établir un tableau de corrélations de leurs différentes biozones, voir tableau VII.

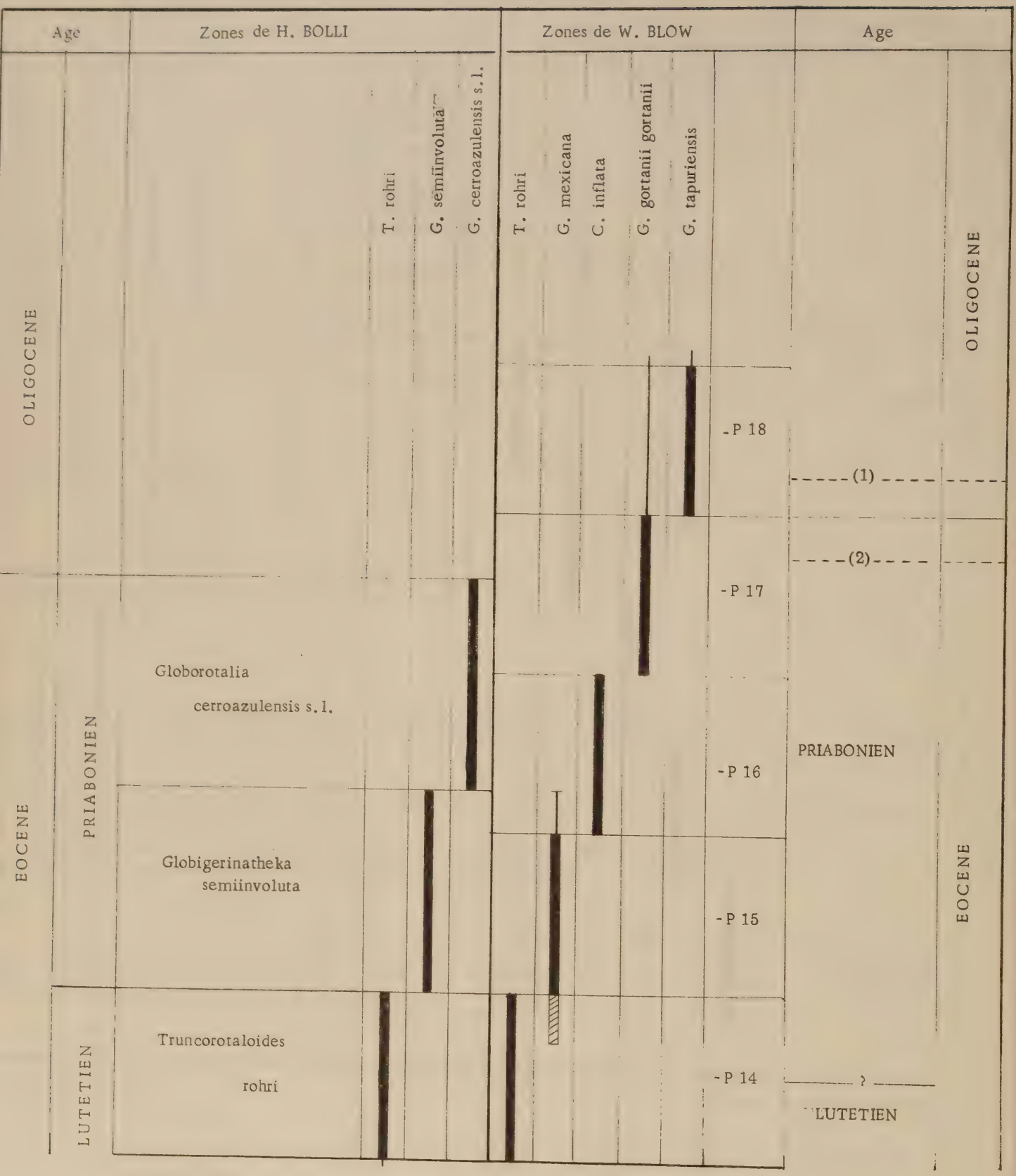



Tableau VII - Corrélations des biozonations de BOLLI (1972) et BLOW (1969) -

Remarques :-le genre Globigerapsis a été mis en synonymie avec le genre Globigerinatheka par F. PROTO DECIMA et H. BOLLI en 1970 [126] . Ainsi, la zone à Globigerapsis semiinvoluta devient la zone à Globigerinatheka semiinvoluta.

W. BLOW reconnaissait Globigerapsis semiinvoluta et Globigerapsis mexicana comme synonymes et les incluait dans la même espèce. Or, les études récentes de H. BOLLI [41] ont montré que ces deux espèces, qui ont pris dès lors le nom générique de Globigerinatheka, étaient tout à fait distinctes (Globigerinatheka semiinvoluta d'une part et Globigerinatheka mexicana d'autre part).

Ceci pourrait expliquer une répartition verticale plus grande de cette espèce dans la zonation de W. BLOW, c'est-à-dire la présence de cette forme dans la zone à T. rohri.

- Il apparaît dans ce tableau une division extrêmement intéressante : nous pouvons localiser la partie terminale de la zone à G. semiinvoluta de H. BOLLI qui recouvre la partie basale de la zone P 16 de W. BLOW. Il apparaît ainsi un intervalle caractéristique, entre l'apparition de C. inflata et la disparition de G. semiinvoluta, dans lequel ces formes sont temporairement associées.

d) Discussion des limites du Priabonien

α - Limite Lutétien-Priabonien (tableau VII)

Cette limite est variable selon les auteurs. En termes de Foraminifères planctoniques, H. BOLLI la place à la disparition de T. rohri et à l'apparition de G. semiinvoluta. Tandis que W. BLOW place la limite qu'il donne comme la plus probable entre Lutétien et Priabonien, au sein de la zone P 14 qui pourrait constituer à la suite de l'étude des grands Foraminifères, dit-il, l'intervalle rapporté à l'Auversien.

β - Limite Eocène-Oligocène

H. BOLLI et M. TOUMARKINE placent cette limite à l'extinction du phyllum du G. cerroazulensis. Pour W. BLOW, cette limite correspond approximativement à la limite P 17 - P 18. En fait, d'après lui, on peut considérer soit la partie basale de P 18 comme encore éocène terminal (① - tableau VII) ou bien considérer déjà la partie sommitale de P 17 comme oligocène (② - tableau VII).

Nous voyons donc que la position la plus basse envisageable selon W. BLOW pour cette limite, rejoint pratiquement l'emplacement proposé par H. BOLLI en 1972.

D'autres auteurs tels que P. BAUMANN [17] et P. ROTH [128] qui ont tenté d'établir des corrélations entre les zones de Foraminifères et celles de Nannoplancton, descendent davantage encore cette limite et la placent juste à l'extinction de Hantkenina CUSHMANN, c'est-à-dire au sommet d'un intervalle qu'ils rapportent à la zone P 16 de W. BLOW.

En ce qui nous concerne, nous n'avons pas la possibilité de prendre parti entre ces auteurs. Nous nous contenterons d'examiner dans la coupe du Ruch la position la plus probable de la limite Eocène-Oligocène en fonction de tous les arguments avancés par ces auteurs.

3) Application à la coupe du Ruch (Pl. 16)

Dans la coupe du Ruch, les possibilités de datation par l'intermédiaire de Globorotalia cerroazulensis sont les plus intéressantes car ces formes sont particulièrement bien représentées dans les sédiments. En effet, ces Globorotalia, dans certains niveaux, représentent 12 % de la population totale de Foraminifères (par exemple : 19. $10^3$ Globorotalia par kg de sédiment sec non lavé à la cote +167). On peut noter l'évolution et le relais des sous-espèces dans ce phyllum, ainsi que la présence quasi constante d'une grande quantité de formes de transition entre les différentes sous-espèces. Il n'en reste pas moins que bon nombre des autres espèces, marqueurs ou non, présentes dans la coupe, apportent aussi d'utiles renseignements stratigraphiques.

L'examen des différents marqueurs et espèces associées au cortège de ces marqueurs nous montre que :

a) -- Globigerinatheka semiinvoluta, marqueur du Priabonien inférieur n'a pas été trouvé dans la partie basale de la coupe du Ruch. En effet, dans cette partie basale, c'est-à-dire dans les Calcaires intermédiaires, le milieu est la plupart du temps, relativement défavorable au plancton, en particulier aux formes de mer franchement ouverte. Nous avons, malgré cela, relevé des formes planctoniques de mer au moins relativement ouverte : Globorotalia cerroazulensis, Globigerina et même localement, de rares formes mal conservées, que nous avons attribuées à Globigerinatheka mexicana mexicana. Or, nous n'avons jamais rencontré dans ces mêmes niveaux, ni Truncorotaloides rohri, ni les formes carénées de Globorotalia du Lutétien. Nous pouvons donc admettre comme un phénomène déjà acquis, l'extinction de T. rohri dans ces Calcaires intermédiaires.

G. cerroazulensis cerroazulensis est présent dans notre coupe dès la cote zéro alors que G. cerroazulensis cocoaensis n'apparaît qu'à la cote +75. Nous notons également la présence probable de G. mexicana mexicana à la cote +13.

Tout converge pour nous permettre de placer les Calcaires intermédiaires, dès leur base, dans la sous-zone à G. cerroazulensis cerroazulensis, donc dans la base de la zone à G. semiinvoluta, bien que ce marqueur n'y soit pas encore représenté.

Il nous est impossible de placer la limite inférieure de cette zone planctonique dans notre coupe puisque les assises sous-jacentes ne contiennent que des Foraminifères benthiques. Nous ne pouvons donc pas placer dans la coupe, la limite Lutétien-Priabonien retenue par H. BOLLI qui est pourtant, parmi toutes celles proposées par les auteurs, la plus haute possible, donc la plus susceptible d'être rencontrée dans nos sédiments.

Si la zone à G. semiinvoluta (presque équivalente à la zone P 15 de W. BLOW), dans laquelle a été placée la base de la coupe, n'y est pas caractérisée, elle apparaît clairement au-dessus puisque ce marqueur est présent dès la cote +73 (il est plus abondant à la cote +123).

Nous sommes donc, d'une manière certaine, dès la fin du premier tiers de la coupe, dans la zone à G. semiinvoluta de H. BOLLI et dans la zone P 15 de W. BLOW.

Dès la cote +75 (apparition de G. cerroazulensis cocoaensis), nous entrons dans la sous-zone à G. cerroazulensis cocoaensis de M. TOUMARKINE et H. BOLLI. Or, comme le phyllum de G. cerroazulensis est continu tout au long de la coupe, ce point est extrêmement significatif, dans la mesure où l'apparition des différentes sous-espèces du phyllum, comme de toutes les espèces planctoniques d'ailleurs, n'est pas plus ou moins liée aux variations des conditions bathymétriques du milieu et d'ouverture de la mer.

b) -- Cribrohantkenina inflata apparaît, dans les sédiments du Ruch, à la cote +95 et disparaît à la cote +150. La zone P 16 de W. BLOW (C. inflata) est donc caractérisée dans la coupe et ses limites sont bien définies aux cotes précitées.

La partie basale de l'ensemble des niveaux contenant ce marqueur, repose sur un horizon à bancs calcaires qui marquent une rupture dans la sédimentation : il ne serait donc pas exclu, à priori, que l'apparition de C. inflata au-dessus de ce niveau soit due simplement à une modification écologique transcrite dans la coupe par le niveau repère de bancs durs. Or, en dessous de cet horizon existent déjà des Hantkenines qui sont représentées dès la base des Marnes bleues ; de même, les différents phyllums de planctoniques, en particulier ceux qui sont reconnus comme caractéristiques de mer ouverte (G. semiinvoluta) existent déjà dans les sédiments. Toutes les conditions écologiques requises nous semblent acquises pour que cette forme puisse se manifester dans ces niveaux, si l'espèce était déjà apparue. Nous ne l'y avons jamais rencontré, par conséquent la zone P 16, nous semble-t-il, n'existe pas en dessous de cet horizon ; le seul point sur lequel la discussion reste ouverte est celui de l'existence éventuelle d'une lacune entre les zones P 15 et P 16 au niveau de cette rupture lithologique.

La précision supplémentaire apportée par le recouvrement de l'extension de C. inflata et de G. semiinvoluta permet de définir dans la coupe entre les cotes +90 et +137, la partie basale de la zone P 16 de W. BLOW.

La disparition de C. inflata à la cote +150 pourrait être accidentelle (variation écologique). Or, d'une part nous sommes en série continue et monotone, d'autre part les phyllums planctoniques, en particulier ceux de G. cerroazulensis et du genre Hantkenina avec (H. alabamensis et H. primitiva) sont toujours bien représentés. Nous pouvons donc admettre que la disparition de C. inflata à cette cote correspond bien à son extinction dans les sédiments. Ce qui nous permet de définir la limite supérieure de la zone P 16 dans notre coupe (cote +150).

c) -- Au-dessus de la cote +137 (toit de la zone à G. semiinvoluta) nous entrons dans la zone à G. cerroazulensis s.l. de H. BOLLI (1972), alors que la sous-zone à G. cerroazulensis cocoaensis existe déjà depuis la cote +75 ; cette dernière se termine à la cote +175, à partir de laquelle apparaît G. cerroazulensis cunialensis (sous-zone à G. cerroazulensis cunialensis).

d) -- Pseudohastigerina naguewichiensis apparaît dans la coupe du Ruch à la cote +133, c'est-à-dire dans la partie terminale de la zone à G. semiinvoluta ; ce marqueur s'éteint - rappelons-le - à la cote +137.

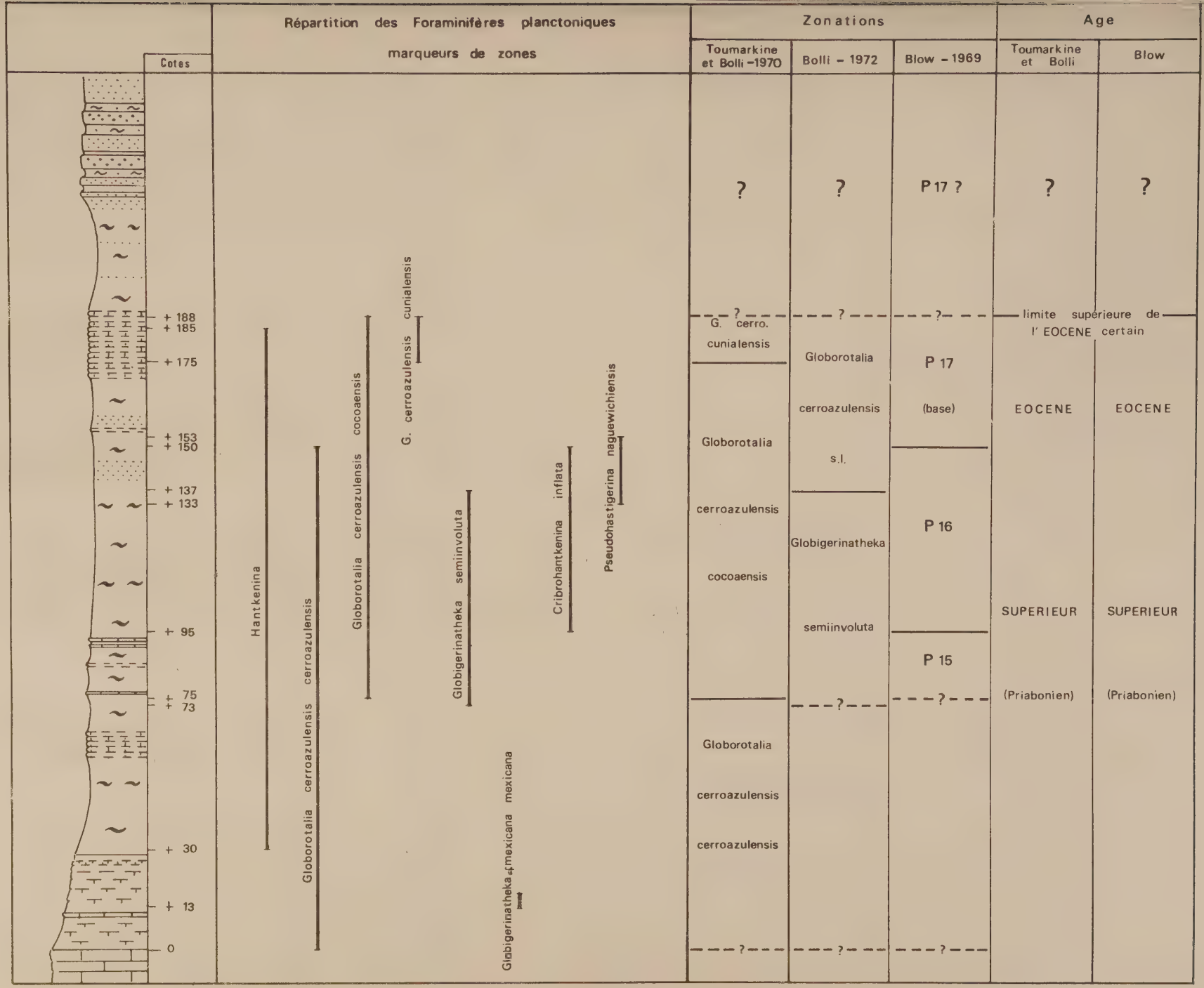
D'après la zonation de W. BLOW, l'extension de G. semiinvoluta (P 15 et base de P 16) et celle de Pseudohastigerina naguewichiensis (sommet de P 16 et suite) ne devraient pas se recouvrir. Or, le recouvrement existe ici sur une épaisseur de 4 m. Deux phénomènes peuvent être évoqués pour tenter d'expliquer ce fait :

- G. semiinvoluta est remanié. Mais il aurait fallu alors que le remaniement soit sélectif car la répartition de toutes les autres formes associées s'accorde tout à fait avec celle donnée par H. BOLLI en 1972. Cette sélection ne s'explique pas lorsqu'il s'agit de formes de morphologie identique et de même taille.

- P. naguewichiensis, qui n'est pas un marqueur de zone, a peut-être une extension légèrement différente de celle donnée par W. BLOW en 1969 ?

e) -- En ce qui concerne la présence éventuelle d'une zone P 17 dans la coupe, il faut noter que nous n'avons pas rencontré le marqueur de cette zone Globigerina gortanii gortanii, n'ayant relevé en effet, que de rares exemplaires de G. gortinii praeturritilina.

Ce dont nous sommes certains par contre, c'est que le toit de la zone P 16 se place à la cote +150. Nous entrons donc dès ce niveau dans la zone P 17, sans pouvoir la caractériser par son marqueur. Cependant, dans sa zonation de 1969, W. BLOW donne tout un cortège d'espèces de planctoniques associées au marqueur de P 17 G. gortanii gortanii.




Pl. 16 Répartition des Foraminifères marqueurs et zonation de la coupe

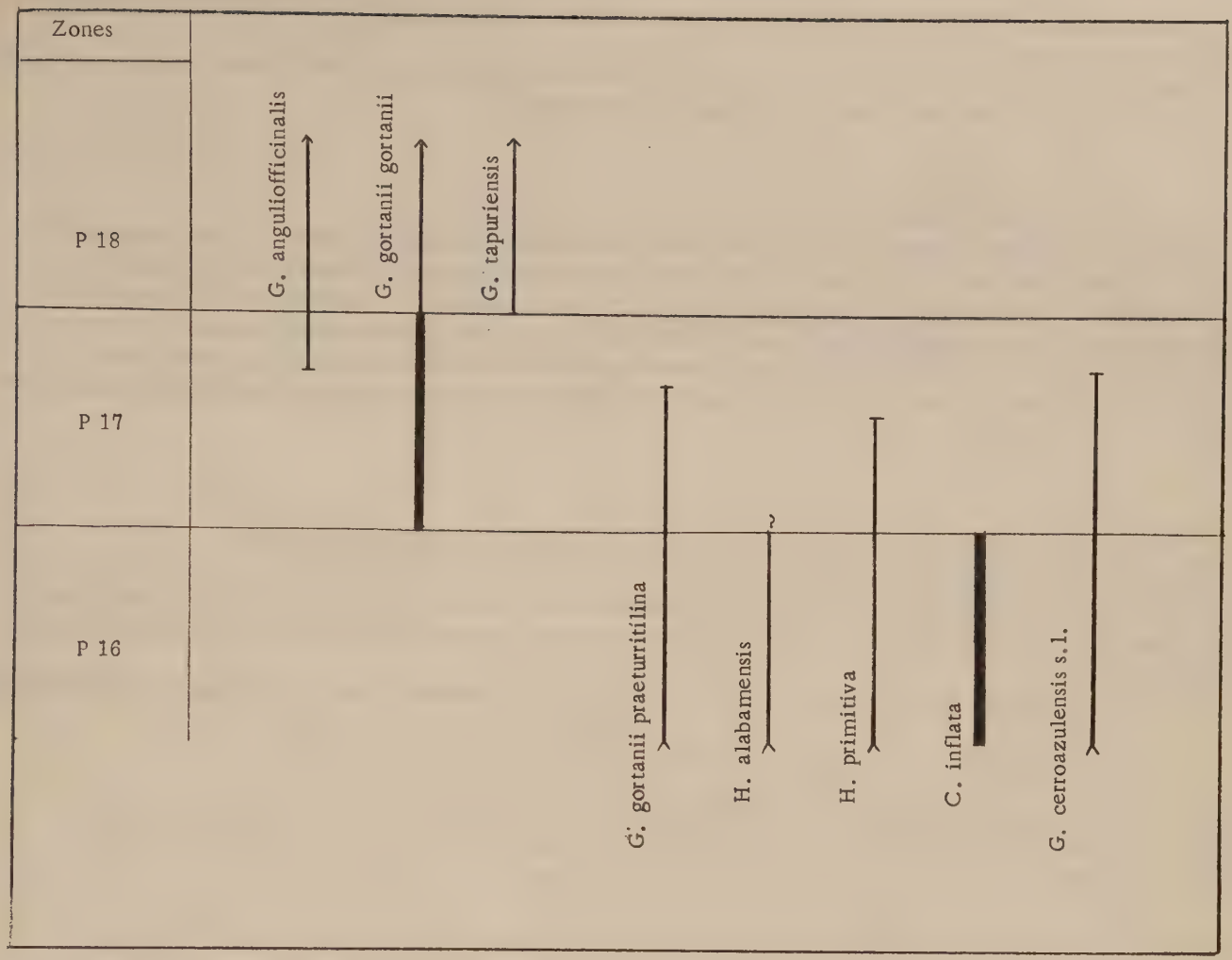



Tableau VIII - Cortège d'espèces planctoniques associé au marqueur de P 17 - (BLOW, 1969) -

Nous savons que le phyllum de G. cerroazulensis s'éteint d'après W. BLOW, juste au-dessus de la moitié de la zone P 17 d'une part, d'autre part que Hantkenina CUSHMANN peut monter jusque dans la partie basale de P 17.

Dans les sédiments du Ruch, le phyllum de G. cerroazulensis s'éteint à la cote +188 (toit de la sous-zone à G. cerroazulensis cunialensis) et Hantkenina CUSHMANN disparaît à la cote +185.

Enfin, G. gortanii praeturritilina que W. BLOW fait s'éteindre au milieu de la zone P 17, disparaît aussi dans les sédiments du Ruch à la cote +188.

Nous pouvons, même en l'absence du marqueur G. gortanii gortanii, admettre la partie basale de la zone P 17 dans les sédiments du Ruch, depuis le cote +150 (extinction de C. inflata) jusqu'à la cote +188 au moins (disparition des G. cerroazulensis, Hantkenina et de G. gortanii praeturritilina).

Quant à la partie terminale des Marnes bleues, située au-dessus dela cote +188, elle n'est attribuable ni à la base de P 17 ni à sa partie supérieure.

La faune de Foraminifères se raréfie et les tests apparaissent souvent mal formés. Ce phénomène semble impliquer des conditions écologiques défavorables à la vie de ces formes, conditions qui sont probablement déterminées par l'arrivée d'eaux douces chargées de particules détritiques troublant les eaux du bassin et diluant leur salinité.

Un autre phénomène de dégradation intervient dans cette partie de la coupe. La grande majorité des tests sont écrasés ou gauchis, traduisant peut-être des mouvements différentiels couche sur couche dans les marnes au voisinage des grès.

Il résulte de tout ceci que nous n'avons pas pu reconnaître les différentes espèces de Globigerina, en particulier les petites formes telles que G. anguliofficinalis dont la première apparition annonce la partie supérieure de la zone P 17 selon W. BLOW.

f) -- Limite Eocène - Oligocène

La définition de H. BOLLI devrait nous permettre de placer cette limite à la disparition du phyllum G. cerroazulensis (cote +188) mais nous avons vu quelles restrictions il convenait d'apporter à cette affirmation en raison du changement des conditions écologiques et de la dégradation des tests dans cette partie de la coupe.

Il en est de même pour les Hantkenina qui s'éteignent à la cote +185 et les espèces du cortège présent dans la partie basale de la zone P 17.

Cette limite ne peut donc être placée en termes de Foraminifères planctoniques. Nous pouvons seulement affirmer que l'Eocène monte au moins jusqu'à la cote +188 dans la coupe du Ruch.

4) Conclusion

La majeure partie de la coupe du Ruch a pu être bien datée en termes de Foraminifères planctoniques suivant les systèmes de biozonations de différents auteurs, grâce au grand développement de ces formes dans les sédiments.

Les zones à G. semiinvoluta et à G. cerroazulensis s.l. y sont présentes et le Priabonien qu'elles caractérisent monte jusqu'à la cote +188 au moins. Mais la partie sommitale plus sableuse, nous empêche de préciser l'extension de la zone P 17 et de définir la position de la limite Eocène-Oligocène en termes de Foraminifères planctoniques.

Nous nous contenterons donc de placer une limite (cote +188) en dessous de laquelle les couches ont un âge éocène certain.

## C. - CONFRONTATION DU PLANCTON AVEC LES NUMMULITES ET CONCLUSION

Les Nummulites nous ont permis d'admettre le Priabonien certain dans le sommet des Calcaires nummulitiques alors que les Foraminifères planctoniques le donnent comme hautement probable dès la cote zéro, et certain à la cote +73 seulement.

Au cours du Colloque de Paris en 1968, les auteurs ont proposé la corrélation suivante en Mésogée, pour le Priabonien :

Tableau IX - Propositions au colloque sur l'Eocène, 1968 -

| FORAM. PLANCT. | NUMMULITES | | | OLIG. limite (1) |
|---|---|---|---|---|
| Globigerina gortanii | N. retiatus | N. fabianii s. l. | Priabonien s. l. | Eocène |
| Globorotalia cerroazulensis | N. fabianii | | | |
| Globigerapsis semiinvoluta | N. aff. fabianii | | | |

C'est donc surtout en fonction du phyllum de Nummulites fabianii, considérée comme marqueur, que ces auteurs ont établi un découpage de l'Eocène supérieur en termes de Nummulites.

Malheureusement, dans les sédiments du Ruch, nous n'avons relevé ni N. fabianii, ni N. aff. fabianii. Les corrélations ne nous sont donc pas permises à priori.

Toutefois, les formes, d'ordinaire associées à ce phyllum en particulier N. bouillei et N. garnieri, nous permettent de reconnaître la zone C de l'Eocène supérieur des Alpes-Maritimes franco-italiennes [34], c'est-à-dire la partie supérieure du Priabonien s.l. qui commence juste au-dessous des Calcaires intermédiaires.

Dans les niveaux où nous pouvons placer une limite en termes de Nummulites, nous n'avons pas encore suffisamment de formes planctoniques significatives et lorsque ces espèces planctoniques apparaissent, les Nummulites ont déjà disparu des sédiments.

Les corrélations entre grands Foraminifères comme les Nummulites et les Foraminifères planctoniques ne sont guère possible au Ruch, comme ailleurs, car les conditions de faciès sont trop différentes pour que les associations faunistiques comportent les deux types de marqueurs en même temps.

La datation de la coupe a été suffisamment précise pour que nous puissions exclure un phénomène important de remaniement et envisager alors une étude statistique.

## III. - ETUDE STATISTIQUE

C'est une méthode d'analyses qualitative et quantitative des différents assemblages de Foraminifères.

Elle permet en effet, d'évaluer les proportions des différents groupes d'organismes et de les comparer de niveau en niveau afin d'apprécier tous les types de variations qui affectent la population tout au long de la coupe.

Les triages, les comptages et les calculs de paramètres qu'implique cette étude de la microfaune, ont été effectués à partir de 44 échantillons. Ce nombre correspond environ à la moitié des échantillons prélevés dans la coupe. Leur sélection s'est opérée en fonction des niveaux différents caractérisés à l'aide de la lithologie, des déterminations génériques et spécifiques des organismes et des analyses géochimiques.

### A. - GENERALITES

Dans chaque échantillon il convient de prélever une fraction de telle sorte qu'elle soit représentative du contenu faunistique de ce dernier. Donc, se posent à la fois le problème du choix du lot destiné au comptage et celui de son ordre de grandeur.

#### 1. - Choix du lot destiné au comptage

##### a) par passage au microsplitter

Les refus de tamisage (2,5 mm à 200 microns) d'un même échantillon, ont été tout d'abord mélangés, puis passés un certain nombre de fois au microsplitter (10), jusqu'à obtention d'un lot contenant approximativement 500 Foraminifères. Nous avons compté les organismes afin de connaître - pour chacun des groupes retenus - le nombre exact de tests contenus dans la fraction d'échantillon.

Devant la difficulté qui s'est présentée (trop nombreuses manipulations pour un même échantillon d'où risque de pertes, de pollution, etc.), nous avons dû essayer une autre méthode.

##### b) par prise à la spatule

Nous avons prélevé, dans chaque refus versé entièrement sur une feuille de papier blanc, un lot de 300 Foraminifères environ avec une spatule en acier inoxydable. Pour pallier l'inconvénient du classement des grains lors de leur chute, ce prélèvement s'est fait à la fois à la base, au milieu et au sommet du tas. Nous avons compté les organismes contenus dans la fraction du refus considéré. Nous avons procédé ainsi pour chaque refus (2,5 cm à 200 microns) d'un même échantillon.

Nous avons testé ces deux méthodes sur un certain nombre d'échantillons. Dans tous les cas considérés, le calcul de divers paramètres a fourni des résultats tout à fait comparables. Cette seconde méthode est plus longue (3 comptages au lieu d'un seul par échantillon) mais elle nous a semblé plus précise du fait du plus grand nombre d'organismes pris en compte. Les résultats sont en définitive plus représentatifs du contenu faunistique de l'échantillon. Elle diminue, de plus, le risque de pertes d'organismes car le lot à compter n'est manipulé qu'une seule fois.

Nous avons donc utilisé cette seconde méthode pour l'ensemble des échantillons.

#### 2. - Classement des tests de Foraminifères pour les comptages

Seuls les tests suffisamment bien conservés pour être déterminés ont été pris en considération. Toutefois, les fragments de taille assez grande pour représenter l'essentiel du test ont été pris en compte. Les moules internes généralement assez fidèles pour permettre une identification générique ont été retenus.

Les fragments non reconnaissables (loges isolées etc.) ont été éliminés.

D'après les genres rencontrés au cours des triages, il s'est avéré pratique de classer ces Foraminifères en 11 groupes.

---

(10) Le microsplitter est un appareil permettant la séparation mécanique d'un ensemble de grains en deux moitiés identiques. Si on passe n fois l'échantillon dans le microsplitter pour recueillir x Foraminifères, le nombre total de Foraminifères pour l'échantillon est : $x. 2^n$.

--- GRANDS BENTHIQUES

(1) NUMMULITIDAE (1) : Nummulites, Heterostegina, Spiroclypeus.
Nous désignerons cet ensemble dans le texte sous le nom Nummulites.

2 NUMMULITIDAE (2) : Operculina.

3 DISCOCYCLINIDAE : Discocyclina, Aktinocyclina, Asterocyclina.
L'ensemble des trois genres sera appelé Discocyclines dans le texte.

--- PETITS BENTHIQUES

4 AGGLUTINES : Ammodiscus, Haplophragmoides, Spiroplectammina, Vulvulina, Textularia, Trochammina; Gaudryina, Clavulinoides, Dorothia, Karrerriella, Cylindroclavulina, Plectina, Liebusella, Tritaxilina.

5 MILIOLIDAE : Quinqueloculina, Sigmoilina, Triloculina.

6 NODOSARIIDAE : Nodosaria, Frondicularia, Lagena, Lenticulina, Marginulina, Marginulinopsis, Planularia, Saracenaria, Vaginulinopsis, Lingulina.

7 CIBICIDIDAE et ANOMALINIDAE : Planulina, Cibicides, Anomalina, Coleites, Heterolepa.
Nous désignerons cet ensemble par Anomalinidae s.l.

8 BULIMINACEA : Bolivina, Siphonodosaria, Stilostomella, Bulimina, Globobulimina, Uvigerina.

9 ROTALIIDAE : Rotalia, Pararotalia, Chapmanina.

10 GROUPE HETEROGENE : Guttulina, Ramulina, Glandulina, Oolina, Epistominella, Baggina, Asterigerina, Eponides, Halkyardia, Pleurostomella, Nodosarella, Virgulina, Cassidulina, Chilostomella, Chilostomelloides, Nonion, Pullenia, Gyroidina, Oridorsalis, Osangularia, Gyroidinoides, Ceratobulimina, Hoeglundina, et indéterminés.

Il s'agit ici d'un groupe tout à fait artificiel qui rassemble plusieurs familles n'ayant aucune affinité. Nous y avons inclus également les tests restés indéterminés dont il faut tenir compte dans les comptages. La fréquence de chaque famille est si faible et leur présence si sporadique que nous n'avons pas pu tenir compte de chacune d'entre elles isolément. C'est donc leur fréquence d'ensemble qui est figurée en particulier sur la planche 21.

--- PLANCTONIQUES

11 HANTKENIIDAE : Pseudohastigerina, Hantkenina, Cribrohantkenina.
GLOBOROTALIIDAE : Globorotalia.
GLOBIGERINIDAE : Globigerina, Globigerinatheka, Globigerinita.

Ces 11 groupes totalisent au moins 81 genres dont certains peuvent être représentés par 20 espèces différentes pour l'ensemble de la coupe. Ce nombre de genres reste bien entendu un minimum car nous n'avons pas rencontré obligatoirement toutes les formes reconnaissables dans ces comptages.

Il est certain que le découpage faunistique proposé ici est arbitraire, bien qu'il soit tiré de la classification actuellement reconnue [109] . Cette classification est fondée sur des caractères morphologiques, seuls critères dont on dispose pour une étude paléontologique.

### 3. - Calculs et représentations graphiques

Nous avons choisi d'utiliser pour chacun des échantillons pris en considération, les paramètres suivants :

-- F/kg - Nombre total de Foraminifères par kg de sédiment sec non lavé.
-- B/P - Rapport du nombre de Foraminifères benthiques au nombre de Foraminifères planctoniques.
-- V - Diversité faunistique.
-- D - Dominance faunistique
-- $P\ \%_1$, $P\ \%_2$ .... - Fréquences relatives cumulées de chacun des groupes de Foraminifères.
-- $N_1/kg$, $N_2/kg$ ... - Nombre de chacun des groupes pris indépendamment, par kg de sédiment sec non lavé.
-- S - Score des Foraminifères.

a) nombre total de Foraminifères par kg de sédiment sec non lavé - F/kg

Ce paramètre nous renseigne sur la concentration de la population de Foraminifères dans les sédiments.

Lors du comptage, deux cas peuvent se présenter : le refus le plus grossier, quand il existe, est souvent important et peut contenir des organismes dégagés de taille supérieure à 2,5 mm. En effet, dans les Calcaires intermédiaires, quelques échantillons contiennent des tests de Foraminifères dégagés, de grande taille, dont on a tenu compte pour les calculs bien qu'ils n'interviennent que pour une faible part.

Mais lorsque ces formes de grande taille étaient absentes du refus grossier, nous avons retranché le poids de ce refus du poids de l'échantillon brut (sec non lavé) pour la raison suivante : ce refus, principalement constitué de petits blocs plus ou moins indurés de marnes (ou plaquettes gréseuses) ayant résisté au lavage, contenait une microfaune de petite taille ne pouvant être dégagée ni comptée. Ces morceaux ont été considérés comme sédiment non traité et éliminés des calculs.

C'est donc le poids "corrigé" de l'échantillon ($P_e$ en g) qui intervient dans les calculs.

Chaque refus est pesé ($P_r$ en g), ainsi que la fraction prélevée à la spatule ($P_f$ en g). On compte x individus dans cette fraction.

Pour connaître le nombre d'individus d'un genre considéré dans l'échantillon rapporté à 1 kg de sédiment sec non lavé on procède de la façon suivante :

on sait que (1) $P_e = P_{r1} + P_{r2} + P_{r3}$

(2)
$$\left[c_1\right] = \frac{f_1}{P_{r1}} \quad \text{d'où l'on tire} \quad f_1 = \left[c_1\right] P_{r1}$$
$$\left[c_2\right] = \frac{f_2}{P_{r2}} \quad " \quad f_2 = \left[c_2\right] P_{r2}$$
$$\left[c_3\right] = \frac{f_3}{P_{r3}} \quad " \quad f_3 = \left[c_3\right] P_{r3}$$

où $\left[c\right]$ est la concentration $\left(\frac{x}{P_f}\right)$ et f le nombre de Foraminifères pour chaque refus.

(3) $F_e = f_1 + f_2 + f_3$

d'où, pour 1 gramme d'échantillon

$$F = \left[c_1\right] P_{r1} + \left[c_2\right] P_{r2} + \left[c_3\right] P_{r3}$$

$$\left[C_e\right] = \frac{F}{P_e}$$

Pour 1 kg d'échantillon, le nombre $X_{1000}$ d'individus d'un genre est donc :

$$\frac{F \times 10^3}{P_e}$$

Il reste à additionner le nombre d'individus calculé pour chaque genre pour obtenir le nombre total de Foraminifères par kg de sédiment sec non lavé (F/kg).

b) le rapport B/P

Dans ce rapport les nombres de Foraminifères benthiques et planctoniques sont donnés par rapport à 1 kg de sédiment sec non lavé. Les différentes valeurs de ce paramètre tout au long de la coupe sont traduites par la courbe B/P de la planche 17.

Il est intéressant de comparer les variations de F/kg à celles de B/P. Cette comparaison permet d'apprécier la covariance des populations benthiques d'une part et planctoniques d'autre part, puisqu'elle fournit des renseignements sur l'évolution, le dynamisme de la faune de Foraminifères dans son ensemble, évolution qui est en relation étroite avec celle du milieu.

C'est pour cette raison que nous avons figuré les deux courbes (F/kg et B/P) sur la même planche (Pl. 17).

c) diversité faunistique - V

Le principe écologique engagé est celui de la relation entre la variabilité du milieu marin et la diversité de sa population. Ce milieu peut, en effet, enregistrer des variations qui se traduisent par des modifications des facteurs physiques et chimiques. Cette variabilité du milieu - entraînant des variations écologiques - d'une manière générale dans les océans modernes, est en liaison étroite avec l'éloignement du rivage de la profondeur des eaux (ce second critère peut ne pas être lié au premier dans le cas de paléogéographies complexes avec hauts-fonds, par exemple). Le milieu devient en effet plus variable, à la fois quand on se rapproche de la côte (dilution de la salinité par apports d'eaux douces, dilution des sédiments autochtones par apports détritiques, eaux troubles, changements de température diurnes et saisonniers, etc.) et lorsque la profondeur diminue (changements de température et de pression, etc.).

Or, les études récentes de plusieurs auteurs, en particulier les travaux de W. WALTON en 1964 [147], dans le golfe du Mexique ont montré que le nombre d'espèces différentes de Foraminifères benthiques par exemple, évolue de manière inverse par rapport à celle de la variabilité du milieu. L'importance de ce nombre d'espèces implique l'idée d'une certaine diversification de la population.

$\alpha$ --- définition de la diversité faunistique : selon W. WALTON, la diversité faunistique V est définie comme étant le nombre d'espèces dont les pourcentages cumulés constituent 95 pour cent (%) de la population totale.

$\beta$ --- mode d'obtention : on compte le nombre d'individus de chaque espèce contenue dans un échantillon. Chacune de ces espèces représente ainsi un certain pourcentage de la faune totale de Foraminifères.

Sur un diagramme semi-logarithmique (Pl. 20), on classe en ordonnées logarithmiques, par ordre croissant, les pourcentages des différentes espèces que l'on cumule jusqu'à 100 %. Les nombres d'espèces correspondants, également cumulés, sont placés en abscisses arithmétiques. On obtient ainsi la courbe des nombres d'espèces par rapport aux pourcentages cumulés.

On calcule alors V à partir de cette courbe en prenant la différence entre les nombres d'espèces correspondant à 100 % ($N_{100}$) d'une part et à 5 % ($N_5$) d'autre part :

$$V = N_{100} - N_5$$

Remarquons que plus V est petit, plus la pente de la courbe représentative augmente. Plus V est grand, plus la pente de cette courbe diminue.

$\gamma$ --- avantages :

la diversité faunistique V a la même valeur écologique que le nombre total d'espèces, mais elle n'est pas affectée, dans la plupart des cas (11), de l'apparition d'espèces rares qui constituent un pourcentage très faible de la population totale. Ce paramètre paraît ainsi plus significatif du milieu d'où la population a été collectée.

l'emploi de V ne nécessite pas, pour la détermination des caractères écologiques, des valeurs rigoureuses. Une augmentation ou une diminution de V, sans tenir compte des valeurs absolues, a une signification écologique.

D'après W. WALTON, dans des sédiments fossiles de même âge, une diminution de V indique le rapprochement d'un milieu à caractère plus littoral, et vice versa. D'une manière semblable, toujours d'après W. WALTON, dans une coupe verticale, une diminution de V de bas en haut indique une régression. Inversement, une augmentation de V indique une transgression.

$\delta$ --- inconvénient :

La connaissance du pourcentage de chaque espèce est indispensable pour le calcul de V. Il faut donc effectuer un comptage systématique de tous les individus de chaque espèce, ce qui est extrêmement long et fastidieux. Pour cette raison, nous avons limité le calcul de ce paramètre à un nombre restreint d'échantillons choisis le plus judicieusement possible.

---

(11) Nous pensons en effet qu'une restriction peut exister : celle du milieu où la diversité faunistique serait telle que de très nombreuses espèces seraient représentées (chacune) par peu d'individus donc affectées d'un faible pourcentage. Les dernières espèces additionnées sur la courbe, qui auraient un pourcentage aussi faible que celui des premières, seraient prises en considération dans le calcul de V, alors que les premières (de 0 à 5 %) en seraient éliminées par définition.

Ce paramètre garde cependant sa valeur mathématique mais nous ne connaissons pas la signification écologique de ce cas.

d) dominance faunistique - D

La dominance faunistique est définie comme le pourcentage de l'espèce la plus commune d'une population.

Elle varie en sens inverse de la diversité faunistique V et dans le même sens que la variabilité du milieu.

D'après W. WALTON, d'une manière générale, sans tenir compte de la profondeur, on peut admettre que plus le milieu est stable, plus V est grand et plus D est petit.

A partir des échantillons pris pratiquement en surface, dans le golfe du Mexique, W. WALTON a construit "une coupe verticale" hypothétique destinée à donner une image de ce que pourrait être une série sédimentaire subissant des variations écologiques. Il en tire les conclusions suivantes : si V croît et D diminue, les conditions écologiques se rapprochent de celles d'une mer ouverte ou bien ce caractère déjà présent, s'accentue. En d'autres termes, on traverse une phase de transgression qui se termine lorsque V et D ont atteint des valeurs extrêmes. Inversement, si V diminue et D augmente, les sédiments se déposent au cours d'une phase qu'il qualifie de transgressive.

Ceci reste cependant schématique, mais comme l'indique cet auteur, ces renseignements obtenus d'après l'étude des assemblages modernes de Foraminifères dans le golfe du Mexique, peuvent être étendus sans inconvénients majeurs aux formes fossiles ainsi qu'il a pu le vérifier en établissant des courbes tout à fait semblables et significatives à partir d'échantillons tertiaires du Texas, prélevés en sondages.

e) fréquences relatives cumulées des 11 groupes de Foraminifères - P %

C'est le pourcentage de chacun des groupes définis ci-dessus, que l'on cumule jusqu'à 100 %. Nous disposons de deux modes de représentation graphique pour ce paramètre.

$\alpha$ -- diagramme circulaire :

ce type de représentation est statique et ne traduit guère l'évolution des proportions des différents assemblages faunistiques. Aussi, l'avons-nous restreint aux niveaux figurés sur les planches-photos. I à XVIII.

$\beta$ -- pourcentages cumulés pour toute la colonne stratigraphique (Pl.21) :

ce graphique montre les variations des proportions de chaque groupe de Foraminifères de niveau en niveau ; en d'autres termes, il rend compte de l'évolution des populations dans le temps, les unes par rapport aux autres.

Chaque point du diagramme est représentatif de la valeur moyenne de l'échantillon soit pour une épaisseur de 2,50 m de sédiment dans le cas le plus fréquent (formation marneuse continue et homogène) ou moins, dans le cas d'échantillons secondaires (cotes +28, +75, +83, +90).

Lorsque les pourcentages des groupes de Foraminifères étaient très différents entre deux échantillons consécutifs, nous avons figuré cette observation par une solution de continuité dans les courbes représentatives. De cette façon, ces variations sont mises en évidence par le décalage brutal des points.

Les variations des proportions des Foraminifères ne sont pas représentatives de l'évolution intrinsèque de chacun des groupes considérés. Elles ne traduisent pas forcément la vitalité même du groupe car les proportions observées peuvent n'être que la conséquence du dynamisme d'un autre groupe. Ainsi, une augmentation du pourcentage des Agglutinés par exemple, ne traduit pas obligatoirement une prolifération de ces individus mais elle peut être due à une régression des grands Foraminifères ou autres et inversement.

La solution immédiate, apparemment idéale, était de représenter le nombre d'individus de chacun des groupes de Foraminifères par kg de sédiment sec non lavé N/kg [12], au lieu de leur pourcentage. Ce paramètre est, en effet, plus significatif pour chaque groupe pris indépendamment. Il renseigne directement sur le comportement de chacun d'entre eux mais il exclue toute indication quant à l'interférence des différents ensembles d'une part, d'autre part, son écart (7 à 15. $10^4$ pour la coupe du Ruch) est tel que la représentation graphique même sur coordonnées semi-logarithmiques, présente une difficulté matérielle évidente. Par conséquent, nous ne le représenterons graphiquement que pour le groupe benthique d'une part et le groupe planctonique d'autre part (Pl. 19).

f) score des Foraminifères - S

Nous avons préféré représenter la variation faunistique par un autre paramètre calculé de telle manière qu'il valorise les groupes dominants par rapport aux groupes peu représentés. Ce paramètre fait pratiquement disparaître des résultats statistiques, les groupes qui ont une signification écologique peu importante.

---

(12) Nous rappelons que ce nombre est calculé à partir du nombre d'individus comptés pour chaque genre.

Ce mode de représentation qui tient compte en fait du poids de la variable N/kg de l'échantillon, nous semble du point de vue écologique, plus significatif que le N/kg seul.

Nous avons appelé score ce nouveau paramètre. Le score est le produit du N/kg d'un groupe par son pourcentage par rapport à la faune totale de Foraminifères benthiques et planctoniques : $S_1$ (ou par rapport à la faune benthique seule suivant les cas : $S_2$). Ce nombre est généralement très grand, nous le divisons par $10^4$ pour obtenir des valeurs pouvant être représentées sur un graphique semi-logarithmique :

$$S_1 = \frac{N \cdot \frac{N \cdot 100}{F}}{10^4} = \frac{N^2}{100\,F}$$

$$\boxed{S_1 = \frac{N^2}{100\,F}}$$

Nous figurons les variations du score pour chaque ensemble de Foraminifères :

- score ($S_1$) de l'ensemble de la population benthique par rapport à la faune totale (benthique et planctonique) Pl. 27.
- score ($S_1$) de l'ensemble de la population planctonique par rapport à la faune totale, Pl. 27 ;
- score ($S_2$) de chaque groupe de Foraminifères benthiques par rapport à la faune benthique totale :
  - score des grands Foraminifères, Pl. 22
  - score des Nodosariidae, Pl. 23
  - score des Anomalinidae, Pl. 24
  - score des Buliminacea, Pl. 25
  - score des Agglutinés, Pl. 26.

Les Miliolidae, les Rotaliidae et le groupe 10 n'ont pas été représentés graphiquement pour les raisons suivantes :

- le score des deux premiers reste inférieur à 1, quelquefois même à 0,01 tout au long de la coupe,
- le groupe 10, dont chaque genre conserve un très faible pourcentage dans la coupe, n'a pas de signification écologique évidente.

Ces trois derniers groupes de Foraminifères ne figurent que sur la Pl. 21.

Remarque : les valeurs faibles de chaque score, en particulier celles qui sont inférieures à 1, ont été simplement notées dans une colonne spéciale, sans échelle, pour chaque planche. Ces "témoins" de faune ont été figurés pour éviter de soulever l'hypothèse d'une absence éventuelle de niveau dans la coupe, quelle qu'en soit la cause.

## 4. - Valeur et fiabilité des critères utilisés en paléoécologie

Tous ces paramètres sont calculés à partir d'un lot de tests qui se trouvent rassemblés dans des sédiments. Ce nombre de tests est le résultat de l'action de plusieurs facteurs qui ont joué un rôle déterminant lors de l'assemblage.

a) Les facteurs les plus importants paraissent être le taux de reproduction des Foraminifères vivants et le taux d'accumulation des tests vides. Nos moyens d'investigation ne sont pas suffisants pour connaître ces taux pour tous les milieux et toutes les espèces. Nous savons seulement, en ce qui nous concerne, que le taux de reproduction est variable suivant les espèces et pour une même espèce, variable selon les milieux de vie.

Pour les populations vivantes, on peut bien sûr faire des observations in vitro, et établir des comparaisons entre les espèces et les caractéristiques physico-chimiques du milieu dans lequel on les a prélevées.

D'après W. WALTON [147], les plus grands nombres de Foraminifères vivants relevés dans le golfe du Mexique sont de l'ordre de $10^3$ spécimens par échantillon de 100 $cm^3$. Ils apparaissent dans une zone comprise entre 10 m et 20 m de profondeur environ. Alors que d'autres échantillons n'ont livré que quelques spécimens. Cette variation, forte en apparence, est néanmoins insignifiante en comparaison des variations relevées dans les populations mortes.

Toujours d'après W. WALTON, il ne paraît pas toujours y avoir de relation directe entre les zones d'abondance maximale de Foraminifères benthiques vivants et les zones d'abondance maximale des tests vides.

Lorsque seul le facteur : décantation des sédiments intervient, pour chaque type de milieu, la concentration des tests vide devrait refléter, à priori, celle des tests vivants dans la colonne d'eau sus-jacente. Mais dans la plupart des

zones côtières, les apports détritiques, souvent importants, (grains de quartz et autres éléments minéraux, débris divers de coquille, etc.) jouent le rôle de diluant vis-à-vis des tests vides et appauvrissent virtuellement les populations mortes. Pour des conditions identiques de sédimentation des tests de Foraminifères, plus le détritisme sera abondant, plus le F/kg des sédiments étudiés sera petit,

C'est ce facteur de dissolution par les éléments détritiques qui devient en fait prépondérant dans une faune fossile. Ceci expliquerait assez bien le fait que le plus grand nombre de tests vides par unité de volume ou de poids, se trouve dans des zones où les apports détritiques continentaux sont les plus faibles, c'est-à-dire, dans des zones où les influences côtières sont négligeables.

Ceci n'exclue pas, bien entendu, la possibilité de développement d'une population très riche et très diversifiée dans ces aires, comme W. WALTON a pu le vérifier dans de nombreux cas.

b) Un autre facteur, non négligeable, intervient également dans la modification des concentrations entre tests vivants et tests vides, c'est celui de la destruction des tests après leur mort, en particulier le phénomène de dissolution.

W. BERGER [20] en effet, a pu réunir un certain nombre d'exemples d'une dissolution de plus de 85 % de Foraminifères planctoniques dans les quelques centimètres d'eau superficielle de bassins pourtant profonds de plusieurs centaines de mètres. Ce phénomène de dissolution peut affecter également le benthos.

En ce qui nous concerne, nous sommes obligés de poser à priori que le facteur de dissolution qui touche toutes les formes à test calcaire ainsi que les formes agglutinées à ciment calcaire, est le même pour chacune d'une part, d'autre part qu'il ne varie pas tout au long de la coupe.

c) Enfin, il faut compter avec le remaniement des tests après leur dépôt. Ce phénomène peut être parfois important (tempête dispersant les tests vides loin de leur milieu de vie, courants de fond, turbidites boueuses, etc.).

Par conséquent, les nombres de tests vides de Foraminifères dans les sédiments, ne peuvent être utilisés comme indicateurs paléogéographiques et / ou paléoécologiques qu'avec la connaissance la plus précise possible de l'ensemble des critères lithologiques, sédimentologiques, géochimiques, etc., du contexte sédimentaire.

## B. - APPLICATION A LA COUPE DU RUCH

Les différents paramètres utilisés dans l'étude statistique de la coupe s'associent en deux lots :

* - un premier lot comprenant F/kg, B/P, V, D et le N/kg des benthiques et des Foraminifères planctoniques dans leur ensemble. Il traduit les variations de l'ensemble de la faune de Foraminifères ;

* - un second lot comprenant N/kg, les fréquences relatives, le score $S_2$ de chaque groupe benthique, intéressant plus particulièrement chaque groupe faunistique isolément tels que nous les avons définis dans les généralités, ainsi que $S_1$.

### * Examen du premier lot de paramètres

La confrontation (Pl. 17) des courbes F/kg et B/P, nous a permis de différencier des stades. Ce sont des épisodes pendant lesquels les caractéristiques générales de la faune restent relativement homogènes ou varient d'une manière homogène. Ces stades sont séparés par des ruptures.

Nous avons distingué quatre stades pour l'ensemble de la coupe du Ruch.

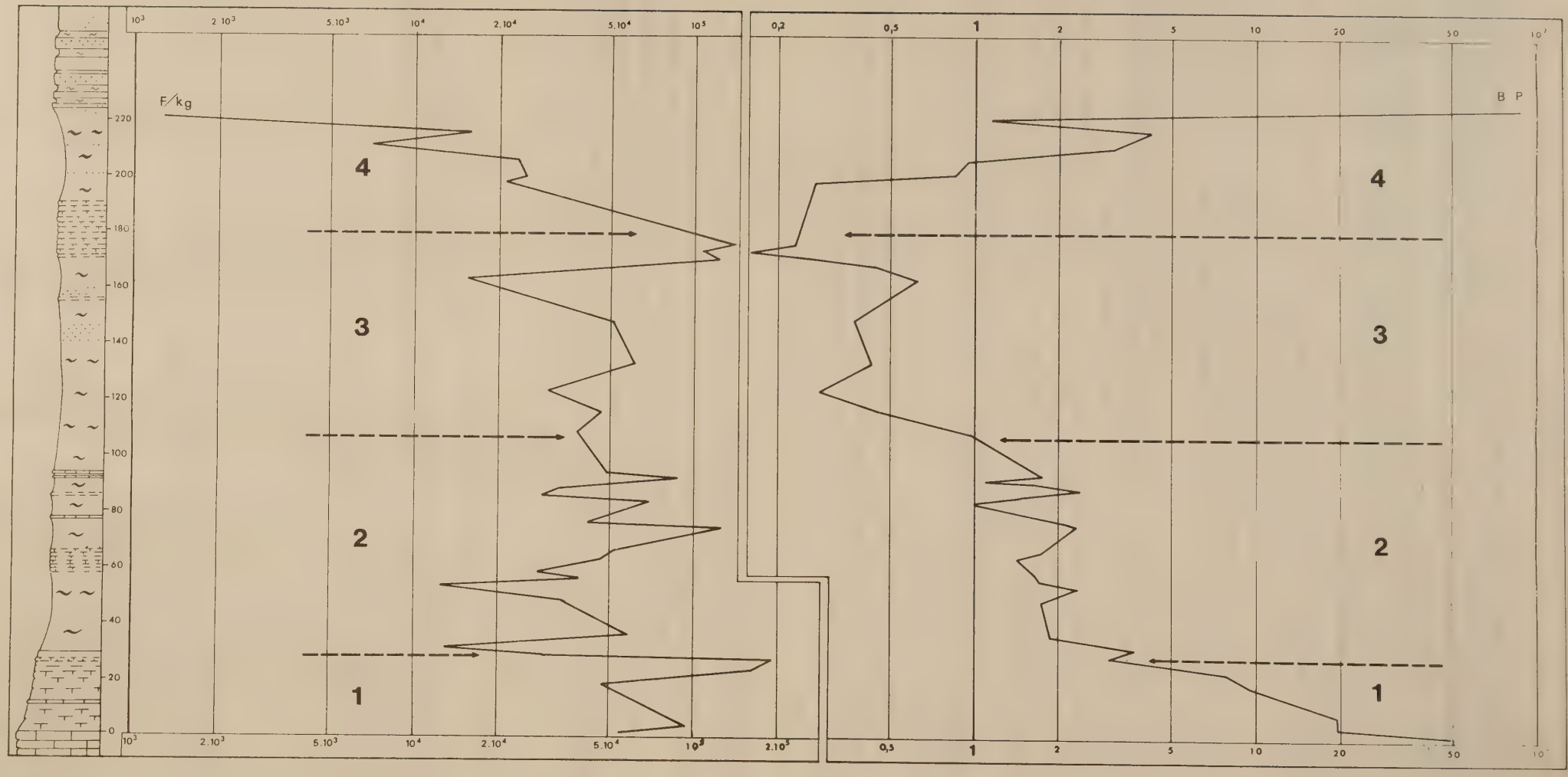
### 1. - Les faits

a) premier stade

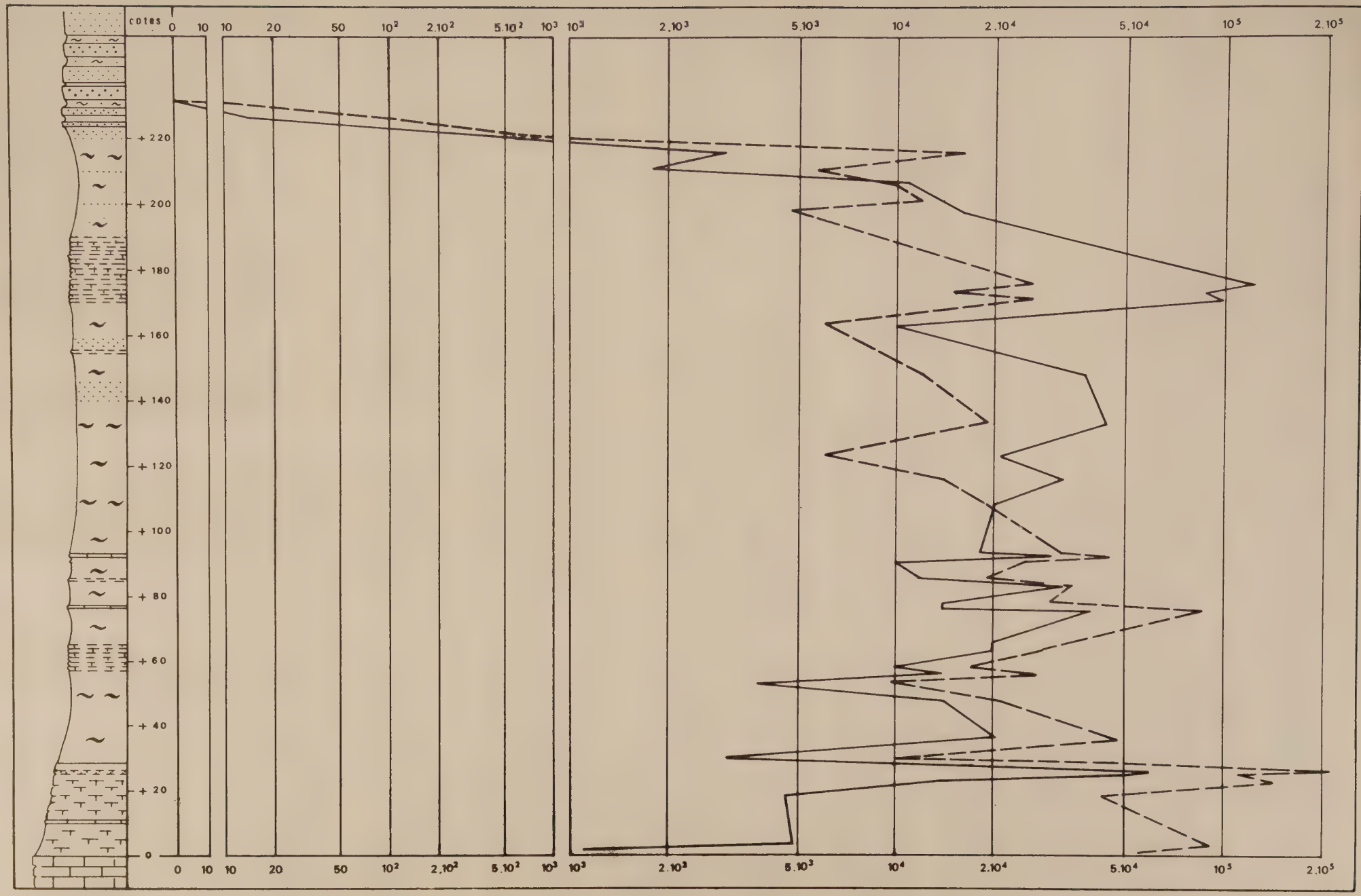
Le premier stade s'étend de la cote zéro à la cote +29. C'est une brusque diminution de F/kg qui localise sa limite supérieure. Il correspond à la totalité des Calcaires intermédiaires.

Ce stade est caractérisé par :

- une proportion de 98 % à 75 % de Foraminifères benthiques,
- une augmentation d'ensemble, de F/kg ( $5.10^4$ à $2.10^5$ environ ),
- une diminution régulière de B/P de 50 à 3.




Pl. 17 - Comparaison de la courbe F/kg (nombre total de Foraminifères par kg de sédiment sec non lavé) et de la courbe B/P (rapport du nombre de Foraminifères benthiques et planctoniques)




Pl. 18 - Nombre (N/Kg) de Foraminifères benthiques (--) et planctoniques (—) par Kg de sédiment non lavé

Par ailleurs, la planche 18 nous montre une augmentation des N/kg du benthos et du plancton.

Le nombre de tests de Foraminifères planctoniques s'accroît donc encore plus rapidement que celui des Foraminifères benthiques au cours de ce premier stade.

b) deuxième stade

Le deuxième stade s'étend de la cote +29 à la cote +105 environ. Sa limite supérieure est placée au niveau à partir duquel le plancton est définitivement dominant dans les sédiments (la valeur du rapport B/P s'inverse, elle devient définitivement inférieure à 1). Il correspond à la partie inférieure des Marnes bleues.

Ce stade est caractérisé par :

- une proportion de 75 % à 50 % de Foraminifères benthiques,
- une série de variations de F/kg de 12. $10^3$ à 12. $10^4$,
- une série d'oscillations de B/P dont la valeur reste comprise entre 1 et 3.

Dans ce stade, les N/kg du benthos et du plancton varient toujours dans le même sens que F/kg (Pl. 18).

Examinons plus en détail les niveaux significatifs des courbes de variations de F/kg et de B/P qui dessinent un certain nombre de pics (Pl. 17).

- De la cote +29 à +32, F/kg diminue brusquement de $2.10^5$ à $13.10^3$. Le F/kg du benthos et celui du plancton diminuent fortement, tandis que leur rapport augmente légèrement. On note donc une divergence des courbes F/kg et B/P telles qu'elles sont situées l'une par rapport à l'autre sur la planche 17. Ce qui signifie que le nombre de tests de Foraminifères diminue dans ces niveaux, dans des proportions pratiquement identiques pour le benthos et le plancton ; ce dernier ayant tendance à diminuer un peu plus vite.

- De la cote +32 à +37, F/kg diminue de $13.10^3$ à $6.10^4$. Le N/kg du benthos et celui du plancton augmentent, tandis que leur rapport diminue. On note ici une convergence des courbes F/kg et B/P. Tout l'assemblage s'accroît mais ce sont les Foraminifères planctoniques qui augmentent le plus vite.

Ce phénomène d'alternance se prolonge jusqu'à la fin du stade. D'une part, on note qu'il est toujours accompagné d'une variation, dans le même sens, des N/kg du benthos et du plancton, d'autre part, le rapport B/P diminue lorsque F/kg augmente et il augmente lorsque F/kg diminue, tout en restant supérieur à 1. Ceci se traduit par une convergence des courbes F/kg et B/P aux cotes +53 à +57, +58 à +63, +77 à +83 et +85 à +92 et une divergence aux cotes +48 à +53, +83 à +85 et +94 à +95.

En résumé, dans ce stade, si les courbes de variations de F/kg et de B/P convergent (F/kg figurant à gauche de B/P), l'assemblage planctonique s'accroît plus rapidement que l'ensemble des groupes benthiques. Si les courbes divergent, l'assemblage planctonique diminue plus vite que l'ensemble du benthos.

Nous voyons donc que, pour la majorité des niveaux dans cette partie de la coupe, la variation faunistique, quel qu'en soit le sens, est dans l'ensemble plus nettement marquée par la population planctonique.

c) troisième stade

Le troisième stade s'étend de la cote +105 à la cote +177 environ. C'est le niveau marquant à la fois une diminution générale du nombre de tests contenus dans les sédiments et surtout celle des tests de Foraminifères planctoniques, qui déterminent la limite supérieure de ce stade. Il correspond à la partie supérieure des Marnes bleues.

Ce stade est caractérisé par :

- une proportion de 50 % à 80 % de Foraminifères planctoniques,
- une série d'oscillations de F/kg, entre $14.10^4$ et $15.10^3$,
- une diminution progressive de B/P toujours inférieur à 1 depuis la base (nous rappelons que la limite inférieure de ce stade correspond au niveau où la valeur du rapport B/P s'inverse pour devenir inférieure à 1).

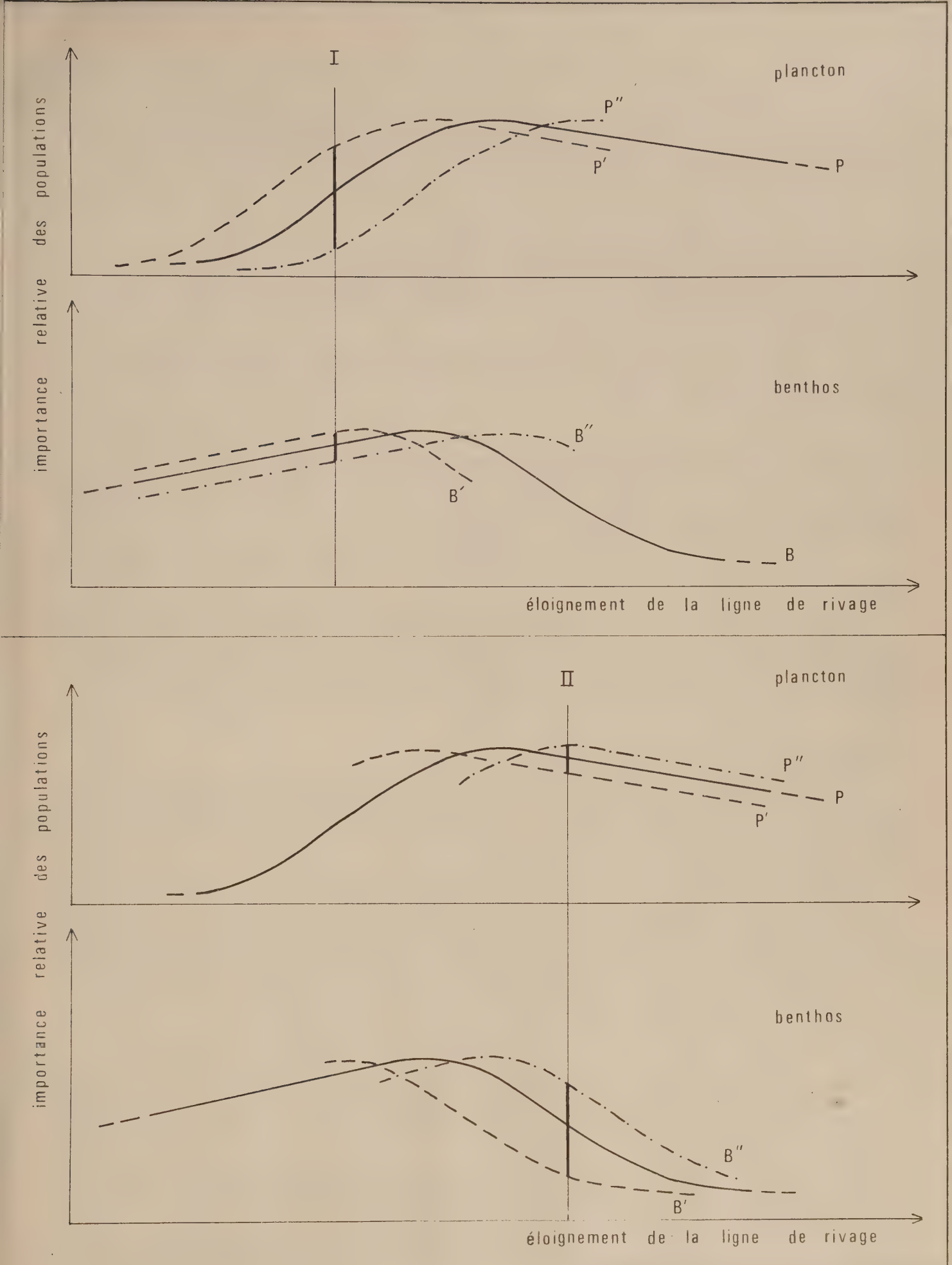
Les N/kg du benthos et du plancton varient toujours dans le même sens que F/kg tout au long de ce stade (Pl. 18).

Contrairement au stade précédent, celui-ci montre un certain parallèlisme dans les variations des courbes F/kg et B/P. Seules deux zones rappellent l'antagonisme marqué au deuxième stade : aux cotes +105 à +108 et +150 à +170.

L'augmentation conjuguée des paramètres B/P et F/kg associée à une variation des N/kg du plancton et du benthos, dans le même sens que F/kg signifie que la faune benthique, dans son ensemble augmente plus vite que celle des Foraminifères planctoniques.

Leur diminution conjuguée signifie que l'assemblage benthique, dans son ensemble, diminue plus vite que celui du plancton.

Nous retrouvons le phénomène mis en évidence au stade précédent mais appliqué ici aux Foraminifères benthiques.




**Pl. 19** _ Interprètation schématique de l'évolution de la position de la coupe par rapport à la ligne de rivage

d) quatrième stade

Ce stade s'étend depuis la cote +177 jusque dans la première passée de marnes sableuses dans les Grès d'Annot. Sa limite supérieure est marquée par le dernier niveau où nous avons pu recueillir encore, quelques spécimens de Foraminifères. Il correspond à la partie tout à fait terminale de la coupe.

Il est caractérisé par :
- une diminution de F/kg ($2.10^4$ à quelques formes seulement par kg),
- une augmentation de B/P de 0,3 à 90 (avec inversion de sa valeur à la cote +207).

Les N/kg du benthos et du plancton varient soit dans le même sens, soit en sens inverse de F/kg.

Notons que dès la base (cote +177), les deux courbes deviennent très divergentes, caractère qui est conservé à quelques exceptions près (évolution parallèle), jusqu'à la fin du stade :

- des cotes +177 à +197 et +202 à +212, puis dans la passée de marnes gréseuses, les courbes F/kg et B/P divergent. Les N/kg du plancton et du benthos diminuent dans le même sens que F/kg. On peut en conclure que le plancton diminue plus vite que le benthos ;

- de la cote +197 à +202, les courbes F/kg et B/P augmentent toutes les deux. Le N/kg du plancton est le seul paramètre à diminuer. Le benthos augmente donc plus vite que le plancton diminue ;

- de la cote +212 à +217, les paramètres F/kg, B/P, N/kg du plancton et N/kg du benthos augmentent. Le benthos augmente donc plus vite que le plancton ;

- enfin, de la cote +217 à +223, tous les paramètres précités diminuent ; par conséquent, le benthos diminue plus vite que le plancton.

En définitive, dans ce stade les variations de fortes amplitudes affectent soit le plancton, soit le benthos. Lorsqu'elles touchent le benthos, c'est dans le sens d'une augmentation (sauf de la cote +217 à +223) et lorsqu'elles intéressent le plancton, c'est dans le sens d'une diminution. Par conséquent, dans la grande majorité des niveaux, les variations faunistiques se produisent au détriment du plancton par rapport au benthos qui est pratiquement réduit aux Agglutinés.

2. - Interprétation

W. WALTON a étudié les populations totales de Foraminifères (vivants et morts), actuelles et subactuelles, d'une part planctoniques et, d'autre part, benthiques, dans le golfe du Mexique. Il en conclut que c'est sur le rebord de la plate-forme continentale que la faune benthique est la plus abondante (plus de $10^4$ Foraminifères par échantillon de 10 $cm^3$). A partir de cette zone, la population benthique décroît d'une part vers la côte, d'autre part vers le large, parfois même dans ce sens d'une manière plus brutale.

C'est aussi au voisinage du rebord du talus continental qu'il situe l'aire d'abondance du plancton (tests vides). Cet auteur a relevé plus de $10^4$ Foraminifères par échantillon de 10 $cm^3$ au-dessous de 180 m de profondeur au large de la Floride. Au large de l'Alabama et du Mississipi, il y a une croissance brutale du plancton vers 55 m de profondeur. Ces formes atteignent un développement maximal entre 75 m et 200 m, puis décroissent dans des profondeurs plus grandes.

L'aire d'abondance du plancton chevauche celle du benthos mais ses limites sont décalées vers le large. Il y a un recouvrement partiel de ces deux zones. Ce rebord constitue donc un relais entre les faunes benthiques et les faunes planctoniques.

Nous pouvons donc tracer des courbes qui traduisent schématiquement les observations de W. WALTON (Pl. 19-I puis II).

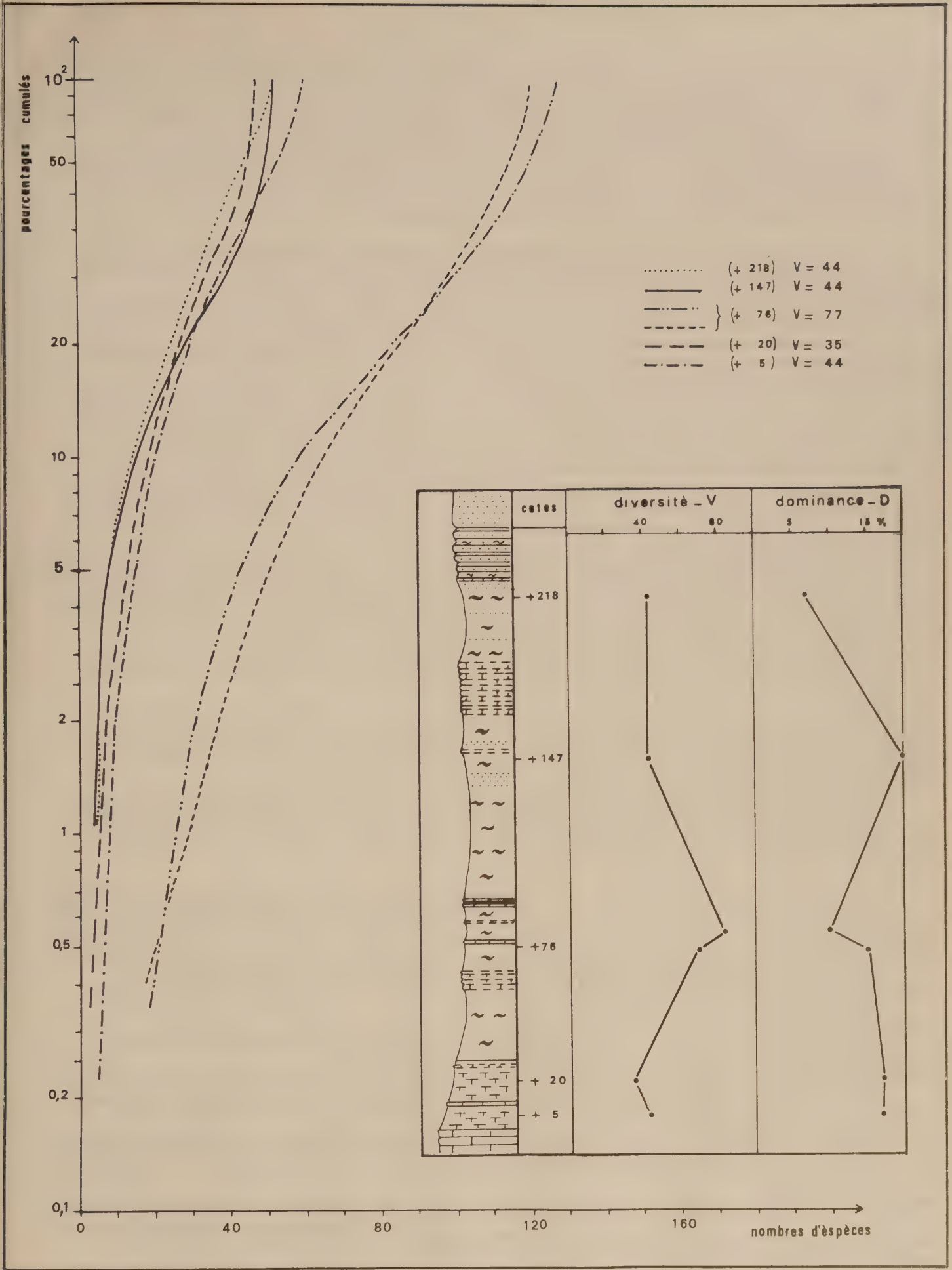
S'il se produit une transgression, la ligne de rivage progresse sur le continent, les milieux se déplacent également vers le continent et la courbe P vient en P', de même la courbe B vient en B'.

S'il se produit une régression, la ligne de rivage recule vers le large, les différents milieux se déplacent également vers le large, la courbe P vient en P" et B vient en B".

Sur une même verticale I, c'est-à-dire dans un même lieu, on voit que les déplacements des courbes P et B entraînent une variation quantitative plus importante au niveau du plancton qu'au niveau du benthos.

Par contre, sur la verticale II, pour des déplacements des courbes P et B toujours liés aux fluctuations du rivage, la variation quantitative du plancton est moins importante que celle du benthos.

Les verticales I et II, schématisent chacune une colonne de sédiments pouvant se situer respectivement sur la plate-forme externe et au-delà du rebord du talus continental.




**Pl. 20** _ Diversité faunistique _ Comparaison avec la Dominance faunistique

Rappelons ce qui se passe dans les différents stades de la coupe du Ruch :
- au stade ① , le plancton s'accroît plus vite que le benthos ;
- au stade ② , les variations de l'assemblage planctonique (quel qu'en soit le sens) sont toujours plus grandes que celles de l'assemblage benthique ;
- au stade ③ , les variations de l'assemblage benthique sont, la plupart du temps, plus grandes que celles du plancton, encore que localement on retrouve les conditions du deuxième stade ;
- au stade ④ , l'assemblage planctonique varie au détriment des Agglutinés.

On peut envisager la position I pour les stades ① et ② de la coupe du Ruch puisque l'amplitude des variations du plancton est plus grande. Au stade ① la zone d'abondance du plancton se déplace vers la côte. Il y a transgression ou bien ouverture vers la mer. Au stade ② il y a une série d'oscillations des courbes P et B.

Ces fluctuations pourraient être dues à des pulsations du fond de la mer qui traduisent une sorte d'"hésitation" ou plutôt une installation d'un nouveau milieu, celui de la dominance du plancton (stade ③ ).

Au stade ③ , par contre, c'est le plus souvent la position II qui convient le mieux puisque l'amplitude des variations du plancton est plus faible que celle du benthos.

A priori de la cote +150 à +170, les types de variations des faunes planctoniques et benthiques nous inciteraient à penser que nous nous retrouvons, dans ces niveaux, dans des conditions plus voisines de I que de II. Mais le grand développement du plancton nous permet d'admettre que nous sommes encore dans des conditions de mer ouverte.

Toutefois, les arrivées détritiques très localisées aux cotes +140 et +155 pourraient être responsables d'une part, d'une forte diminution du F/kg (détritisme jouant le rôle de diluant vis-à-vis des tests vides déposés) et d'autre part, peut-être d'une régression du plancton vivant se trouvant brusquement dans des conditions de vie défavorables, même en milieu de mer ouverte. Plus haut, les mauvaises conditions de développement disparaissant, le plancton peut s'accroître rapidement dans son milieu de prédilection.

Le passage du stade ② au stade ③ pourrait se faire dans une zone où l'on passe du maximum de la faune benthique, au maximum de la faune planctonique. Au cours de ce passage, le benthos diminue à partir de son maximum alors que le plancton augmente jusqu'à son maximum. Ceci se traduit par une variation nulle ou faible du F/kg et une diminution notable de B/P. Or, dans la planche 17, c'est bien ce que l'on observe entre les cotes +95 et +105.

Au stade ④ , de la cote +177 à +212, il est probable que la coupe se situe sur la verticale I, les courbes B et P se déplaçant vers le large (recul du rivage). Les arrivées détritiques à la cote +200 pourraient expliquer la brutale diminution du plancton.

Au-dessus, les types de variations indiquent chaque fois un déplacement des courbes B et P vers le large, mais les schémas de la planche 19 sont difficilement applicables. Les types de courbes ne conviennent pas. Les proportions faunistiques sont-elles modifiées par le détritisme grossier qui fait son apparition par intermittence dans le bassin ? Ces niveaux renferment-ils des assemblages remaniés ?

Tout ceci reste une construction schématique des différents milieux susceptibles d'être rencontrés dans la coupe du Ruch. On peut sans aucun doute envisager des types de courbes différents de ceux qui sont figurés ici. Toutefois, ceux-ci offrent l'avantage d'être basés sur des phénomènes observés.

Par ailleurs, d'après l'étude de W. WALTON, le rebord du plateau continental dans le golfe du Mexique, est le siège des plus grandes valeurs de diversité faunistique V (elle atteint 50 pour les tests vides de Foraminifères benthiques), alors qu'elle n'atteint que 10 ou 20 vers les zones très littorales. Ce paramètre diminue également vers le large où les conditions bathymétriques empêchent le développement de ces formes, mais la présence généralement abondante de plancton dans ces zones permet de distinguer les deux sens de variation qui pourraient sembler à priori similaires.

L'étude de la diversité et de la dominance faunistiques pour la coupe du Ruch nous apporte des renseignements complémentaires (Pl. 20).

Dans les Calcaires intermédiaires V varie de 35 à 44. Les espèces dominantes appartiennent aux Operculines et représentent chacune 16 % de la population totale dans chaque niveau considéré.

Dans la partie inférieure des Marnes bleues, V a une valeur moyenne de 77 (70 à 84). L'espèce dominante est tout d'abord une Uvigérine (U. mexicana, 15 %) puis une Globigérine (G. eocaena, 10 %). On voit déjà que la dominance passe du benthos au plancton.

Ceci se répercute sur l'assemblage dominant. A la cote +75, les Uvigérines qui dominent nettement sont accompagnées d'Agglutinés, de Bolivines, de Discocyclines et de Stilostomella avec des Globigérines bien représentées mais subordonnées aux Uvigérines.

Par contre, à la cote +77 environ se sont les Globigérines avec G. eocaena, qui deviennent largement dominantes sur le reste de la population. L'ensemble des Uvigérines, des Bolivines, des Agglutinés et des Stilostomella est cette fois-ci nettement dominé.

A la cote +147, V atteint seulement 42, mais l'espèce largement dominante est Globigerina tripartita (23 %). Le cortège dominant est constitué de la grande majorité des Foraminifères planctoniques (Globigerina et Globorotalia) accompagnés de quelques Agglutinés.

Dans les niveaux tout à fait terminaux de la coupe (cote +218 environ) V égale 44, et la dominance est de 7,2%, elle est représentée par un Agglutiné. Ce niveau est essentiellement formé d'Agglutinés qui dominent des Gyroidina, des Eponides et des Globigerina. Néanmoins le plancton est encore assez bien représenté par G. tripartita essentiellement (6,09 %), bien que l'ensemble de ses pourcentages reste inférieur à celui des Agglutinés.

Malgré le petit nombre d'échantillons considérés, les courbes V et D (Pl. 20) sont assez bien représentatives de l'évolution de ces paramètres. La comparaison de ces deux courbes nous permet de noter une augmentation de la diversité faunistique et une diminution de la dominance, au moins jusqu'à la cote +77. Au-dessus on observe la diminution de V et l'augmentation de la dominance du plancton.

On peut donc raisonnablement, envisager l'hypothèse suivante pour les sédiments de la coupe du Ruch.

Comme l'atteste l'augmentation de la diversité faunistique depuis la base des Calcaires intermédiaires jusqu'au sommet de la partie inférieure des Marnes bleues (cote +105 environ), ces niveaux se sont déposés vraisemblablement dans un milieu où sont réalisées des conditions de plate-forme interne voire même littorale pour l'extrême base de la coupe. Le milieu évolue ensuite vers des conditions de plate-forme plus externe.

Dans la partie supérieure des Marnes bleues la diminution de la diversité faunistique, jointe à la grande dominance du plancton nous permet d'admettre le dépôt de ces sédiments dans une mer franchement ouverte, probablement au-delà du rebord de la plate-forme continentale.

De toute façon, nous sommes au-delà de la zone de relais entre les aires d'abondance du benthos et du plancton, donc au-delà du rebord du talus continental.

Le milieu installé ici est plus stable car les amplitudes des variations sont dans l'ensemble plus faibles dans ces niveaux qu'au stade ②, sauf à la cote +160 où des arrivées détritiques pourraient être la cause d'un appauvrissement brutal de la population de Foraminifères.

Ces conditions pourraient se poursuivre au moins jusque vers la cote +177 environ, au-dessus de laquelle, il semble que l'on retrouve des conditions de plate-forme externe jusqu'à la cote +212. Les variations brutales de la faune enregistrées ici sont de même type que celles observées au stade ②. Il semble qu'elles annoncent un milieu différent de celui dans lequel elles apparaissent. Au stade ② , c'est l'installation du milieu à dominante planctonique alors qu'au sommet de la coupe il s'agit du milieu des Grès d'Annot pratiquement azoïque.

Ceci nous amène à penser que l'installation de milieux nouveaux dans un bassin (milieux aussi différents que puissent être les Marnes bleues et les Grès d'Annot) pourrait se traduire par un même mécanisme ; ce mécanisme étant caractérisé par des variations faunistiques brutales, parfois opposées et en général d'assez forte amplitude.

En résumé, l'étude de l'évolution des paramètres concernant la faune totale nous permet de situer schématiquement les différents niveaux de la coupe, dans le bassin par rapport à la ligne de rivage. Cette situation varie dans le temps depuis la base jusqu'au sommet. C'est donc à la fois une ouverture progressive, parfois saccadée, souvent plus régulière mais indubitable, du bassin que nous avons caractérisé dans la majeure partie de la coupe et une régression de la mer, dans sa partie tout à fait terminale. Les conditions écologiques initialement littorales évoluent vers des conditions de plate-forme externe, même de talus continental pour aboutir finalement à des conditions semblant nettement plus littorales.

* Examen du deuxième lot de paramètres

Alors que le premier lot de paramètres nous a permis de déterminer l'évolution de la position des dépôts par rapport à la ligne de rivage, ce deuxième lot nous permettra de mettre en évidence des niveaux à dominance faunistique dans la coupe.

Il s'agit, avant tout, de savoir si la faune étudiée est une biocoenose [13] (totale ou partielle) ou non. En effet, dans les faunes fossiles, c'est-à-dire dans les assemblages d'organismes qui ont vécu ou ont été déposés en même temps dans le même contexte sédimentaire, la différenciation des tests allochtones et des tests autochtones est certainement l'un des problèmes les plus importants, tant du point de vue stratigraphique qu'écologique.

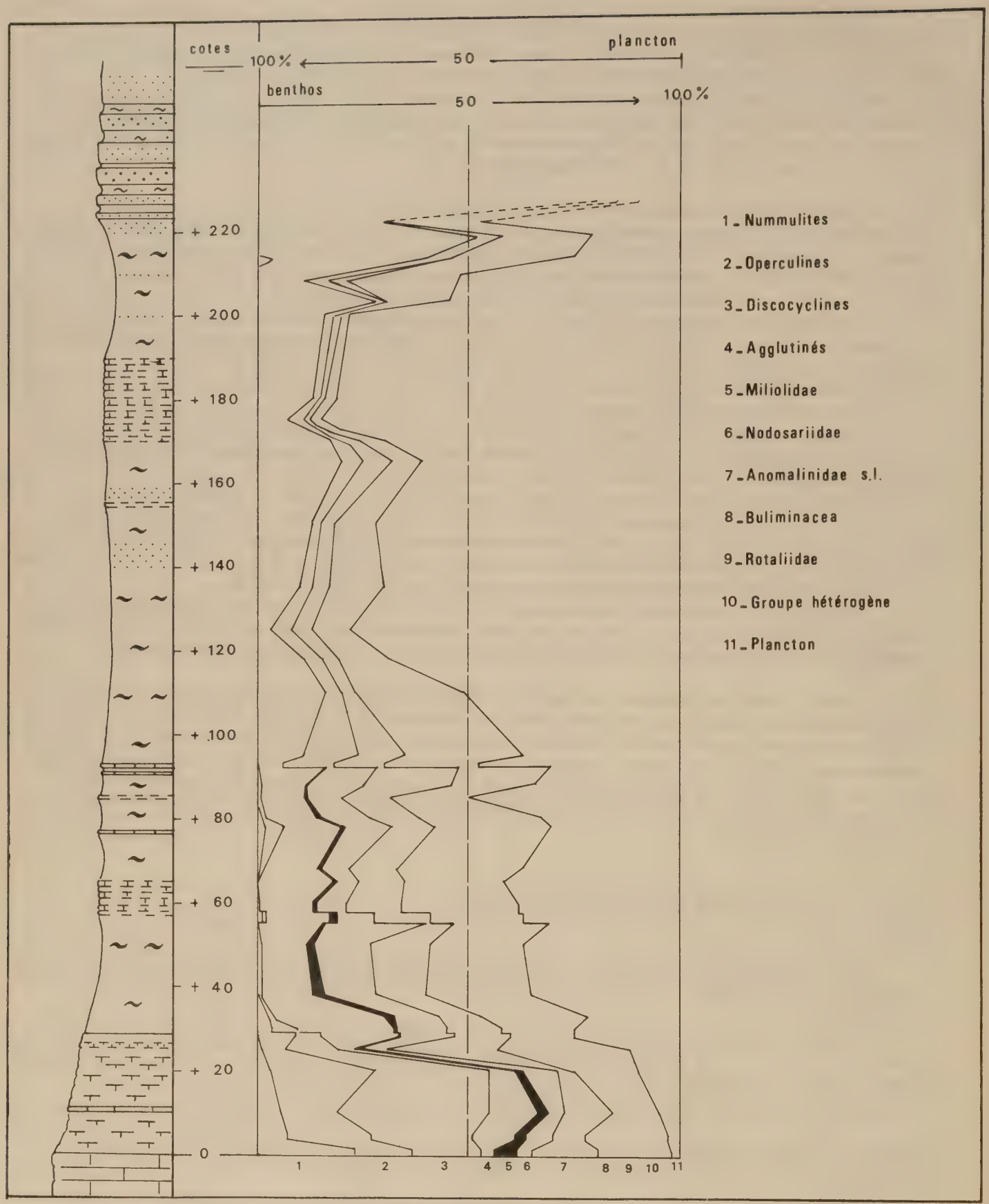
La stratigraphie de la coupe du Ruch a été établie avec une précision suffisante pour que nous puissions exclure un phénomène important de remaniement dans ces niveaux. Nous avons donc toute raison de penser que les différents assemblages de Foraminifères peuvent être considérés comme des biocoenoses, ou du moins comme des groupements peu modifiés.

Nous chercherons à déterminer des niveaux à dominance faunistique en fixant notre attention sur les groupements des différents genres de Foraminifères.

Les études de W. WALTON [147] ont montré que, certes les critères d'ordre écologique basés sur des espèces sont les plus rigoureux (les espèces les plus caractéristiques d'un milieu, donc les mieux adaptées, étant les dernières à y apparaître et les premières à en disparaître). Toutefois, (comme il a pu le vérifier sur la faune oligocène du Texas), il est plus facile de s'adresser aux genres qu'aux espèces : le genre paraît en effet moins sensible aux faibles variations

---

(13) Biocoenose (MOEBIUS, 1877) : association de vie d'organismes qui se trouvent en équilibre par rapport à l'environnement inorganique. Terme étendu à la paléontologie.




**Pl. 21** - Fréquences relatives cumulées des Foraminifères

du milieu que les espèces qu'il regroupe ; à ce titre, il est donc plus susceptible de traduire les grandes tendances de l'évolution d'un bassin. La définition des faciès, par les genres les plus communs, est donc plus généralement applicable aux interprétations paléontologiques des faunes fossiles, tertiaires en l'occurrence.

En ce qui nous concerne, dans notre secteur restreint d'étude, nous avons pensé qu'il serait plus simple de travailler en fonction des regroupements de genres, voire de familles (en sachant bien que le comportement de chaque groupe exprime la sommation des comportements de chacune des espèces du groupe considéré vis-à-vis du milieu).

Examinons donc maintenant les variations quantitatives des différents groupes de Foraminifères définis au début de cette étude statistique.

## 1. - Les faits

Rappelons que le score $S_2$ de chaque groupe benthique a été calculé à partir de la faune benthique totale, donc Foraminifères planctoniques exclus :

certes, la présence de ces derniers constitue un critère utilisable dans les déterminations paléoécologiques : comme nous l'avons déjà vu, leur abondance peut être un signe d'ouverture d'un bassin, mais ils ne doivent pas entrer en compte lorsque l'on considère les groupes benthiques isolément, en particulier lorsque l'on examine les variations des différents groupements au sein de ce benthos.

### a) les grands Foraminifères benthiques (Pl. 22)

Dans leur ensemble, ils restent localisés aux Calcaires intermédiaires ; quelques rares formes sont néanmoins présentes jusqu'à la cote +90.

Les Nummulites régressent fortement et brutalement dès la cote +1 ; au-dessus, elles demeurent à l'état de "traces" pour ainsi dire, jusqu'au sommet des Calcaires intermédiaires puis disparaissent totalement dans les Marnes bleues.

Les Discocyclines et les Operculines, au contraire, ont un score qui diminue très progressivement depuis la base jusqu'au sommet de ces mêmes calcaires (N/kg reste voisin de $10^4$ mais le pourcentage diminue).

Ce sont ces deux groupes qui présentent encore quelques individus jusque vers la cote +90, à partir de laquelle ils disparaissent des sédiments. Toutefois, on note des apparitions ponctuelles de quelques individus d'Operculines (aux cotes +150 et +120) et de Discocyclines (à la cote +173).

En résumé, seule la base des Calcaires intermédiaires présente des niveaux riches en Nummulites, alors que c'est dans leur totalité que ces niveaux sont riches en Operculines et en Discocyclines.

### b) les petits Foraminifères benthiques

#### α. Les Nodosariidae (Pl. 23)

Ils progressent depuis la base des Calcaires intermédiaires jusqu'à leur sommet. Ils présentent ensuite, un grand développement dans la moitié inférieure des Marnes bleues : leur score, qui progresse nettement depuis la base de cette formation pour atteindre des valeurs élevées ($S_2$ = 30) à la cote +93, subit néanmoins des fluctuations appréciables. En effet, le long d'une progression d'ensemble du groupe apparaissent des périodes de nette régression (cotes +30 et +53). Nous verrons ultérieurement que ces zones d'appauvrissement se retrouvent chez d'autres groupes et en conséquence qu'elles traduisent des variations écologiques générales.

Dans la moitié supérieure des Marnes bleues, les Nodosariidae sont presque toujours peu représentés ou totalement absents des sédiments (partie terminale de la coupe). Il existe seulement deux secteurs où ils montrent quelque importance entre les cotes +115 et +135 et surtout +165 à +175.

#### β. Les Anomalinidae s.l. (Pl. 24)

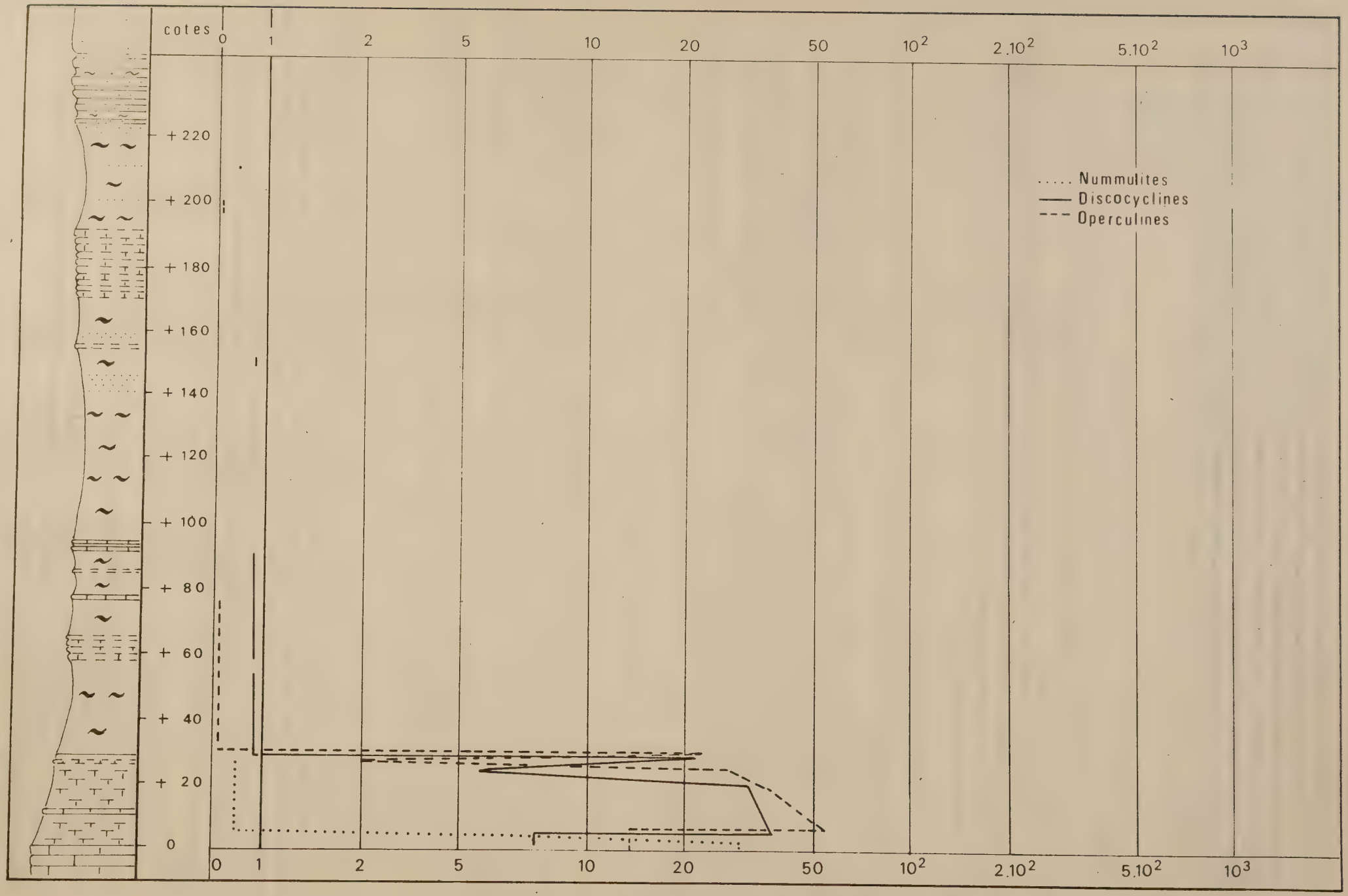
Ce groupe est assez bien représenté dans la base des Calcaires intermédiaires, mais il régresse d'une manière régulière depuis la cote +3 jusqu'à la cote +18. Au-dessus de cette cote, leur score augmente brusquement pour atteindre la valeur 120 dans le sommet de cette formation (cote +23). Plus haut, dans la partie inférieure des Marnes bleues, les Anomalinidae s.l. restent abondants (score entre 10 et 20) dans l'ensemble. A la cote +95, ils régressent brutalement pour devenir rares jusqu'à la cote +175, à partir de laquelle ils disparaissent définitivement.

C'est donc à la cote +23 que leur développement est maximal. Il est intéressant de noter qu'à ce niveau et à ce niveau seul, le score du genre Cibicides (forme fixée) qui atteint la valeur 100, représente l'essentiel du score de ce groupe.

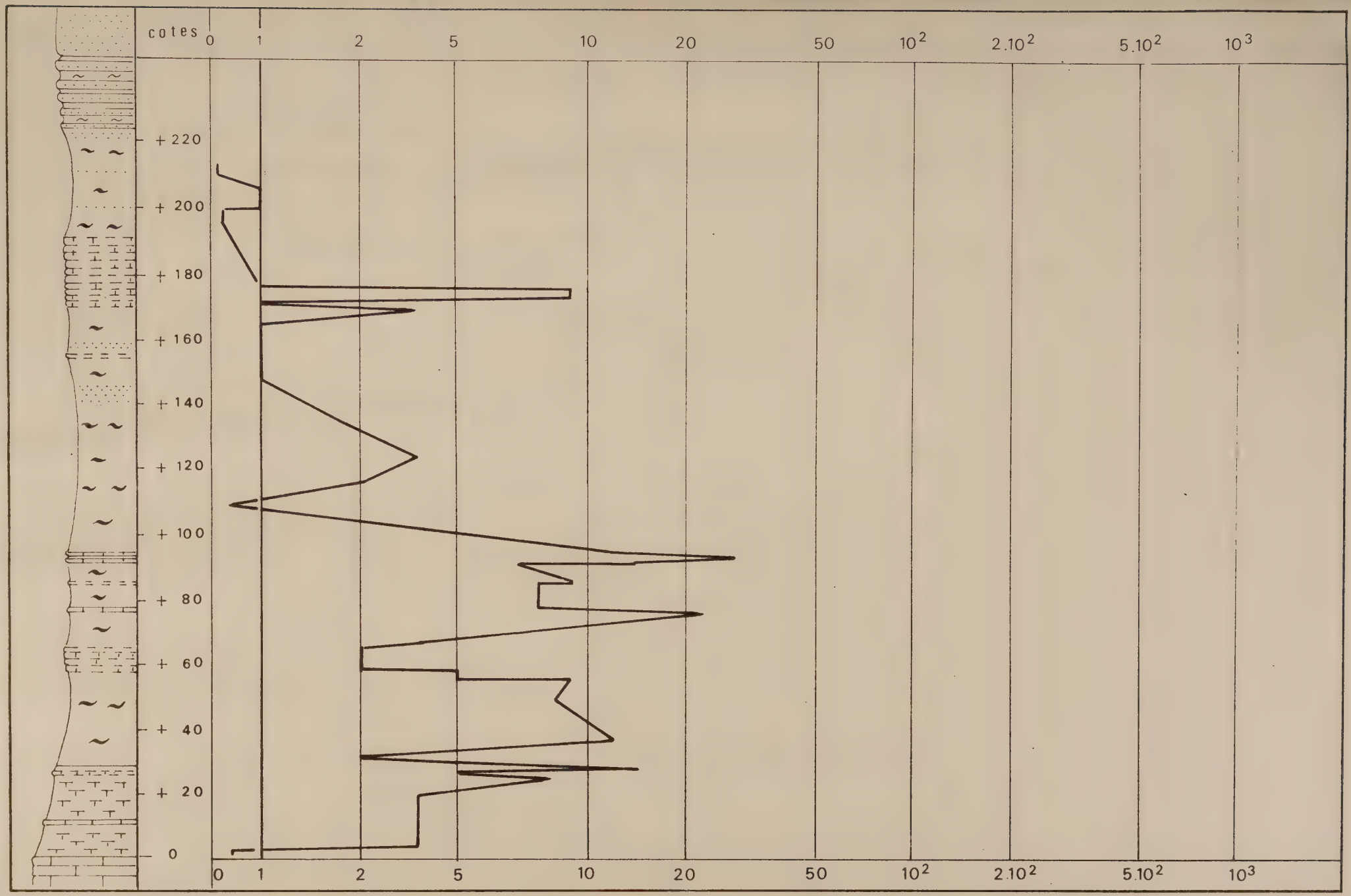
#### γ. Les Buliminacea (Pl. 25)

Ce groupe est essentiellement constitué d'espèces d'Uvigérines à côtes, de quelques Uvigérines à épines, de Bolivines auxquelles s'ajoute le genre Stilostomella.

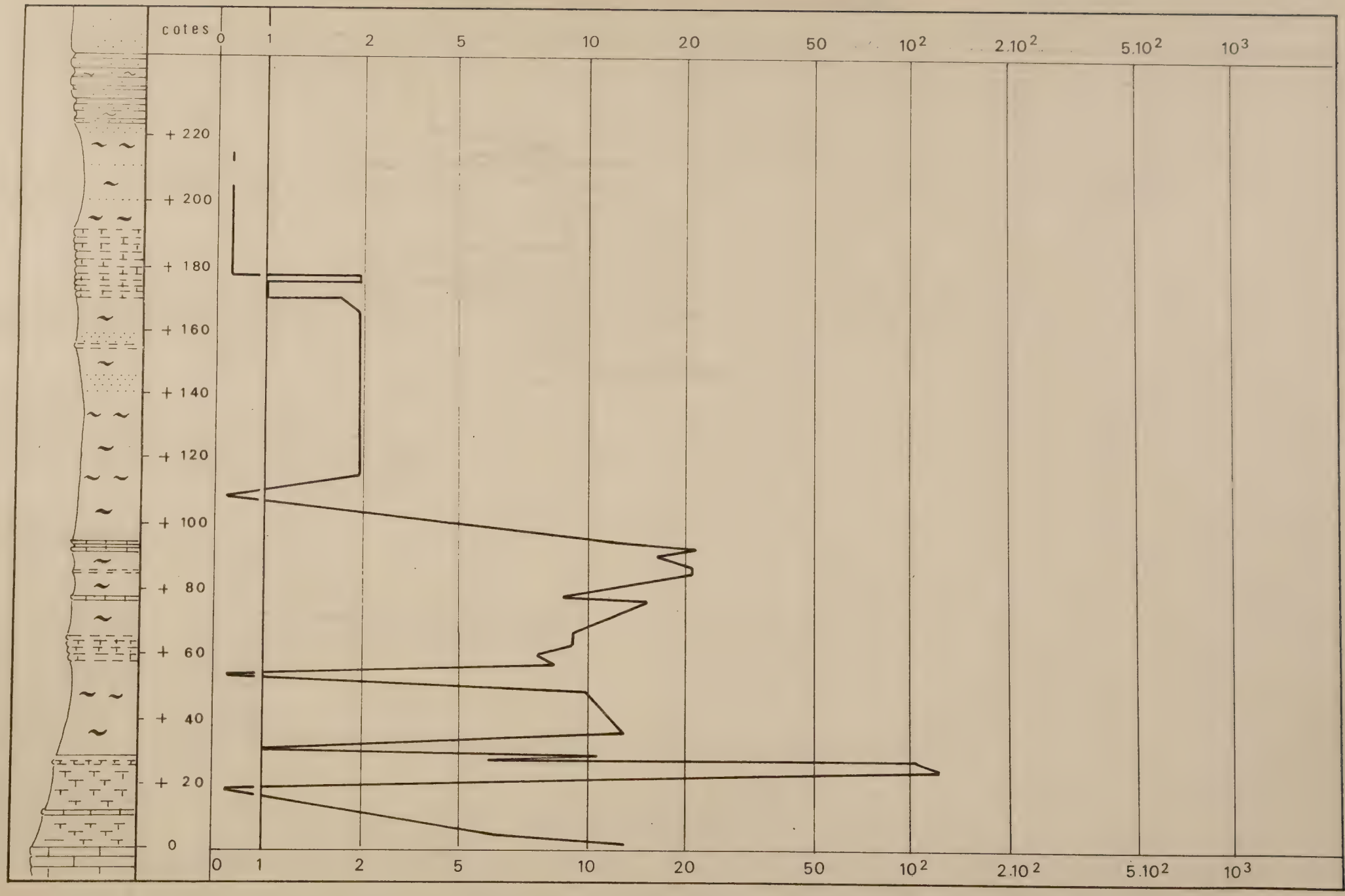
Les Buliminacea et en particulier les Uvigérines à côtes suivent dans l'ensemble la même évolution que les Nodosariidae et les Anomalinidae s.l. On note leur grand développement au sommet des Calcaires intermédiaires ($S_2$ = 45) niveau dans lequel les Uvigérines à côtes constituent la totalité de ce groupe.



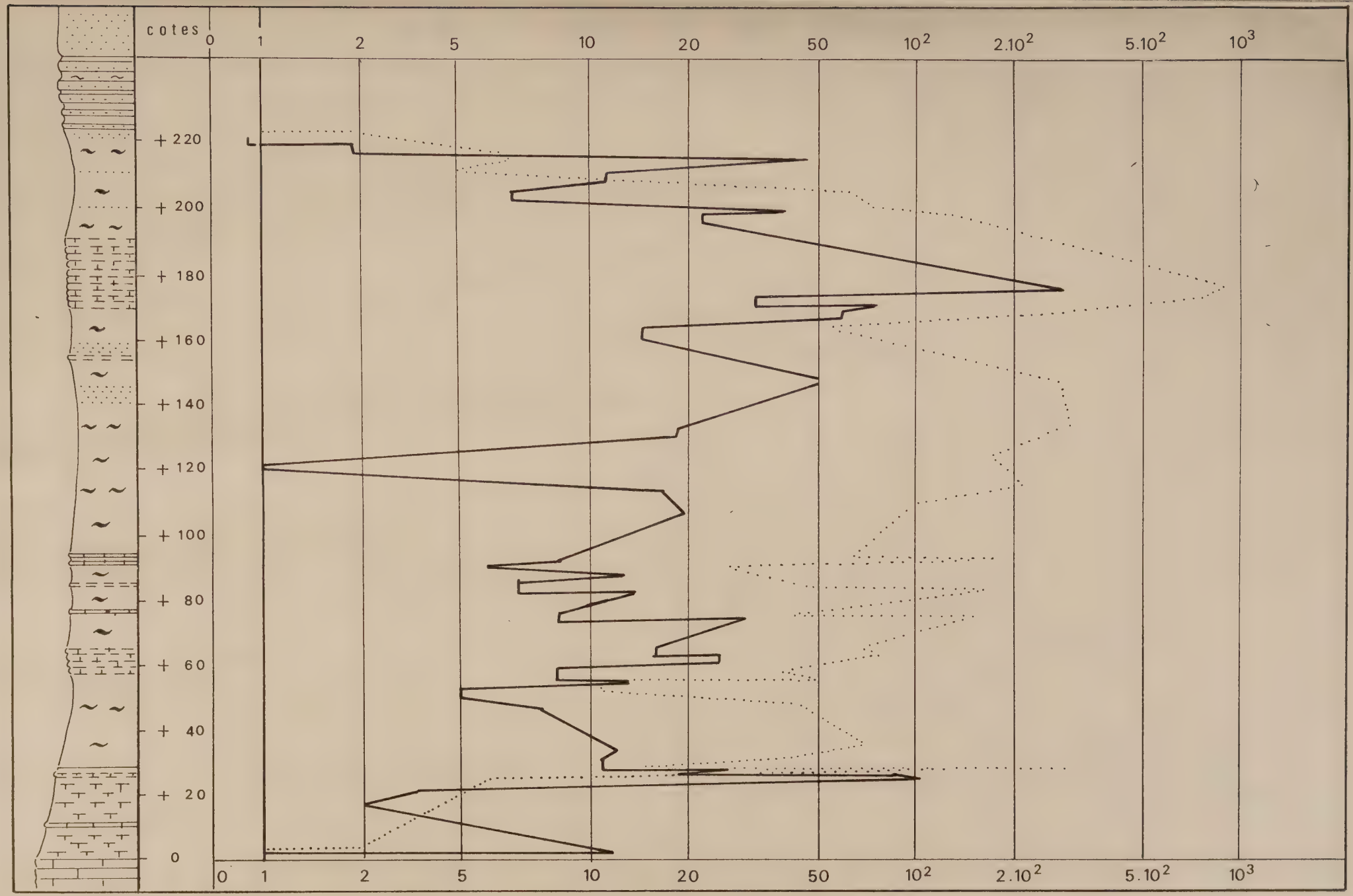

Pl. 22 - Score ($S_2$) des grands Foraminifères benthiques



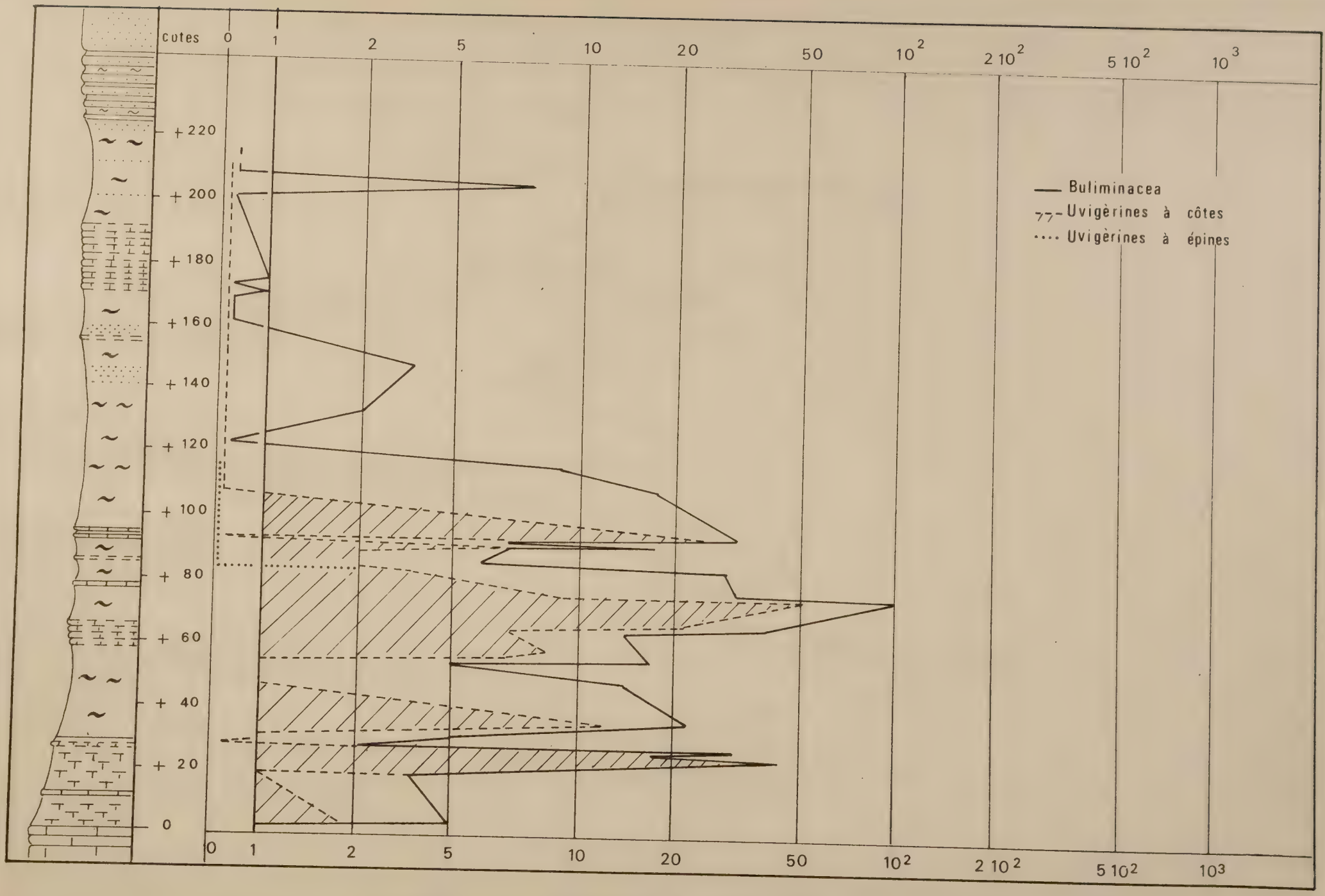

Pl. 23 - Score (S.) des Nodosariidae



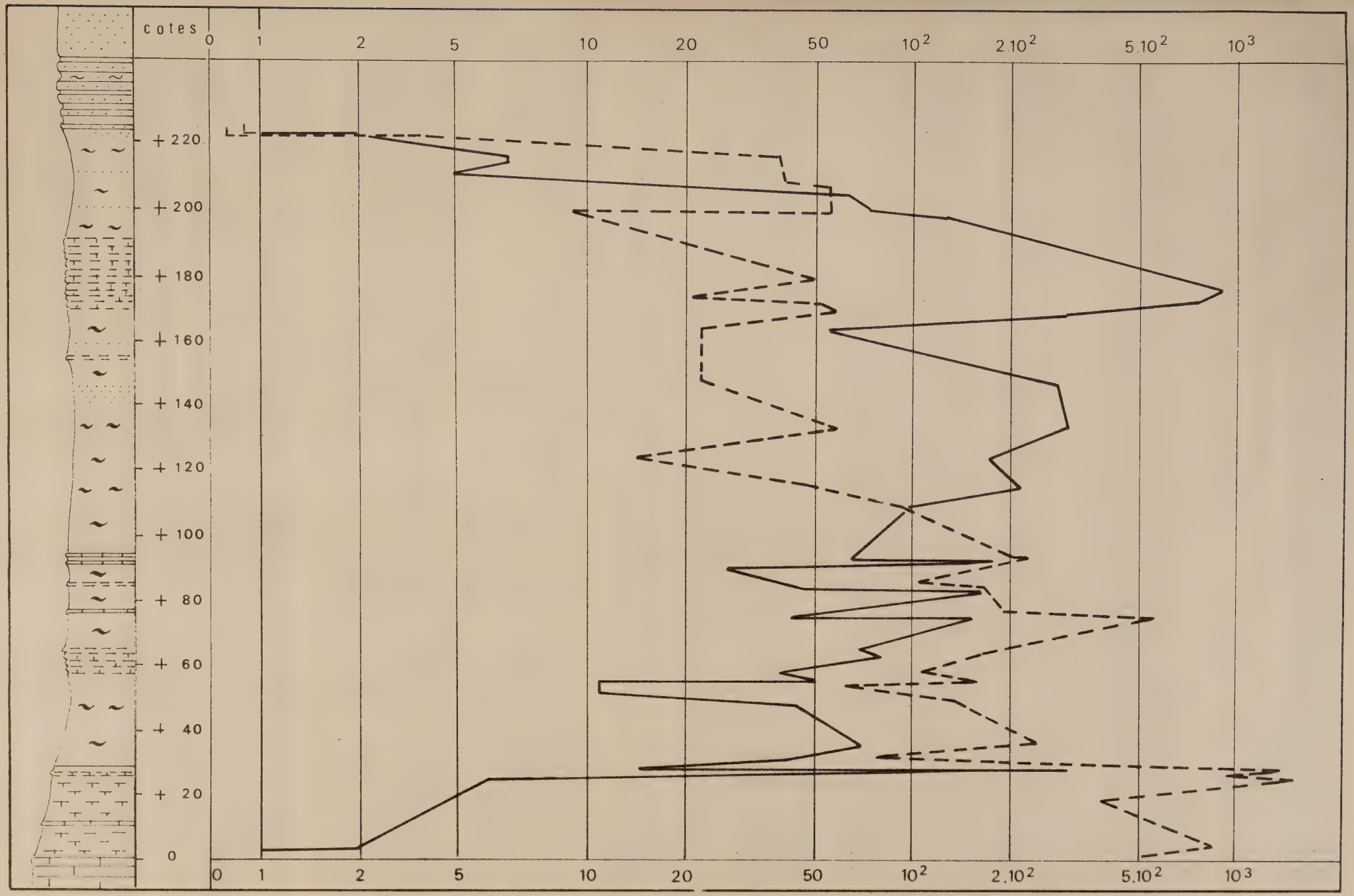

Pl.24 - Score ($S_2$) des Anomalinidae s.l.




Pl. 26 – Scores ($S_2$) des Agglutinés (—) et ($S_1$) du plancton (···)




Pl. 25 - Score ($S_2$) des Buliminacea




Pl. 27 - Scores ($S_I$) des Foraminifères planctoniques (—) et benthiques (– –)

Leur développement maximal cependant se situe à la cote +75 ; c'est aussi à ce niveau que les Uvigérines à côtes ont leur score le plus élevé ($S_2$ = 52). L'ensemble des Buliminacea commence à régresser à partir de la cote +95 pour disparaître un peu plus haut.

Les Uvigérines à épines qui sont assez rares dans toute la coupe, font cependant une apparition notable (U. proboscidea et U. rustica), à la cote +83 ($S_2$ = 2).

δ. Les Miliolidae

La microfaune de Miliolidae est toujours très pauvre dans la coupe et sa présence presque exclusive dans les Calcaires intermédiaires et la base des Marnes bleues est à noter. Ces formes disparaissent à la cote +91. Dans la partie supérieure des Marnes bleues, aux cotes +115 et surtout +205, quelques rares spécimens apparaissent dans les sédiments (Pl. 21).

ε. Le groupe 10

Les petits Foraminifères benthiques très diversifiés qui constituent ce groupe sont présents surtout dans les Calcaires intermédiaires et dans la partie inférieure des Marnes bleues jusqu'à la cote +170 environ (Pl. 21) ; mais le pourcentage de chaque genre reste faible.

Dans la partie haute des Marnes bleues, ces formes deviennent rares (surtout au moment de la domination du plancton) ; on note cependant, la présence de Hoeglundina de grande taille qui peuvent même atteindre par exemple 8 % de la population totale à la cote +207 et de Gyroidina. Les spécimens de Gyroidina constituent parfois un pourcentage élevé de la population (certes déjà réduite) qu'on y rencontre : leur score est voisin de la valeur 3. Ces formes disparaissent dès le dépôt de petites plaquettes gréseuses dans les Marnes bleues. Notons que ce genre se rencontre encore dans la première passée de marnes sableuses dans la formation des Grès d'Annot.

ϑ. Les Agglutinés (Pl. 26)

Les Agglutinés sont présents dans les Calcaires intermédiaires dès la cote +3. Ils subissent ensuite, une progression d'ensemble dans toute la formation des Marnes bleues : leur score atteint 300 à la cote +175. Ils montrent néanmoins au cours de cette évolution des phases régressives en particulier aux cotes +53 et +125.

Dans la partie haute des Marnes bleues en dessous des passées très sableuses, on note la présence régulière de quelques spécimens de Cyclammina, genre qui, cependant, devient mieux représenté dans les niveaux riches en plancton.

A partir de la cote +175, les Agglutinés régressent régulièrement pour disparaître dans la première passée de marnes entre les grès comme les quelques rares formes de Gyroidina, de Heterolepa et de Globigerinidae qui les accompagnaient.

En résumé, les petits Foraminifères benthiques augmentent progressivement jusqu'au sommet des Calcaires intermédiaires. Leur grand développement se situe dans la moitié inférieure des Marnes bleues. Au-dessus, ils restent à l'état de "traces" ou disparaissent définitivement. Seuls les Agglutinés restent bien représentés jusque sous les grès.

c) Les Foraminifères planctoniques (Pl. 27)

Si nous considérons maintenant le plancton, nous voyons ce groupe se développer très nettement dans le sommet des Calcaires intermédiaires. Sur une épaisseur de 2 m (cotes +27 à +29) leur score passe brutalement de 5 à 300. Ces formes planctoniques, tout en restant subordonnées à l'ensemble du benthos, sont bien développées dans la partie inférieure des Marnes bleues. Elles deviennent largement dominantes dans la partie supérieure de cette formation depuis la cote +95 jusqu'à la cote +205 (avec une abondance de Globigerinatheka, des cotes +115 à +135). Au-dessus de la cote +205 le benthos, représenté alors essentiellement par les Agglutinés, domine à nouveau.

De l'examen des deux derniers groupes, il semble se dégager un certain parallélisme entre les courbes de progression des formes planctoniques et celles des Agglutinés, ainsi qu'en témoigne la planche 26.

Remarque

La microfaune est abondante dans l'ensemble de la coupe, il apparaît cependant des niveaux de régression affectant toute la population ou du moins la majorité des groupes :

- cote +18, régression enregistrée par les Agglutinés, les Buliminacea et surtout les Anomalinidae s.l. Seul le score des Nodosariidae augmente légèrement, mais ceci ne fait que traduire une diminution de ce groupe, moins importante que celle des autres.
- cote +95, régression enregistrée par l'ensemble du benthos.
- cote +123, régression enregistrée par les deux groupes benthiques encore bien représentés dans les sédiments (Agglutinés et Buliminacea).

L'étude de l'évolution de chacun des groupes de Foraminifères nous amène à considérer des niveaux à dominance faunistique tout au long de la coupe. Nous avons relevé, par ordre d'importance décroissante, les trois principaux groupes pour les niveaux les plus significatifs (dans certains niveaux, l'appauvrissement est tel que certains groupes ne sont plus représentés que par un seul genre).

Tableau X - Niveaux à dominance faunistique

| "Niveaux" | Cotes | Dominance faunistique d'après le score de chaque groupe du benthos |
|---|---|---|
| 1 | 0 à +3 | NUMMULITES, DISCOCYCLINES, ANOMALINIDAE fixés |
| 2 | +3 à +20 | DISCOCYCLINES, OPERCULINES, ANOMALINIDAE fixés |
| 3 | +20 à +33 | ANOMALINIDAE fixés, BULIMINIDAE, DISCOCYCLINES, puis AGGLUTINES, BULIMINACEA, NODOSARIIDAE |
| 4 | +33 à +50 | BULIMINACEA, ANOMALINIDAE s.l., NODOSARIIDAE |
| 5 | +50 à +55 | NODOSARIIDAE, BULIMINACEA et AGGLUTINES (équivalents) |
| 6 | +55 à +75 | BULIMINIDAE, AGGLUTINES, ANOMALINIDAE s.l. |
| 7 | +75 à +90 | BULIMINIDAE, ANOMALINIDAE, AGGLUTINES puis ANOMALINIDAE, AGGLUTINES, NODOSARIIDAE |
| 8 | +90 à +95 | NODOSARIIDAE, ANOMALINIDAE s.l., BULIMINACEA, puis BULIMINACEA, NODOSARIIDAE, ANOMALINIDAE s.l. |
| 9 | +95 à +105 | BULIMINACEA, AGGLUTINES |
| 10 | +110 à +207 | PLANCTON, AGGLUTINES |
| 11 | +207 à la 1re passée de marnes sableuses | AGGLUTINES, Gyroidina, PLANCTON |

Remarques

- les niveaux 5 et 7 marquent une régression faunistique générale, du benthos et du plancton à la fois.
- le niveau 9 marque une régression du benthos uniquement, alors que le plancton s'annonce abondant. Ce niveau est en effet celui du passage à la dominance planctonique. Cette inversion des dominances caractérise un niveau de transition important dans la coupe.
- le niveau 10 qui est caractérisé par la prolifération du plancton amorcée au niveau précédent, comporte une phase de transition vers le niveau 11 de la cote +205 à +207. C'est le passage à la dominance des Agglutinés, dominance qui caractérise le niveau 11 .

2. - Interprétation

D'après une étude de O. BANDY sur les microfaunes benthiques actuelles [11] , on sait que parmi les Foraminifères calcaires perforés, ceux qui ont des piliers internes sont essentiellement des types de plate-forme interne.

Par contre, chez les Bolivines, celles qui ont des petites épines externes apparaissent dans les parties centrale et externe de la plate-forme. Les formes striées et costulées sont généralement associées à des types rencontrés sur le talus de la plate-forme externe.

Les Cyclammina sont caractéristiques d'eaux plus profondes en général et plus froides, spécialement dans les bassins bien ventilés.

Les grands spécimens de Hoeglundina (de diamètre supérieur à 2,5 mm) se rencontrent apparemment dans les bassins profonds.

Les Gyroidina (formes globuleuses) sont, avec les Valvulineria et des Epistominella à bord anguleux, des formes plutôt de zone bathyale.

Ajoutons que W. WALTON met en évidence en 1964, dans le golfe du Mexique, une distribution de la variation de la dominance générique [14] d'une population de petits Foraminifères benthiques. Il fait de la plupart des espèces de Bulimina, de toutes les espèces de Bolivina et des Uvigerina, des organismes de mer ouverte. Ces formes apparaissent en plus grande abondance sur la partie externe de la plate-forme continentale, c'est-à-dire dans la zone qui n'est plus soumise aux influences côtières, aux apports fluviatiles en particulier.

Ces auteurs ont donc étudié la répartition des genres dominants en fonction des différents types de milieux marins reconnus, types classés suivant la profondeur. Ces travaux nous permettent d'envisager un classement des groupes de Foraminifères benthiques en fonction des types de profondeur relatifs successifs, que nous avons rencontrés dans la coupe du Ruch, depuis la zone littorale jusqu'au talus continental inclus.

Les Nummulites et les Discocyclines sont les plus littorales. Ensuite, avec l'accroissement de la profondeur, nous classons les Operculines. Enfin, parmi le benthos de petite taille, nous notons les Anomalinidae s.l., les Nodosariidae et les Buliminacea avec essentiellement les Uvigérines.

Ce classement qui reste un schéma, est basé sur les zones qui offrent un grand nombre d'individus répartis dans de nombreux genres différents.

Un groupe se montre un peu à part, celui des Agglutinés. Ces formes sont présentes en effet, tout au long de la coupe et peuvent donc sembler les plus ubiquistes. Nos observations sont donc en plein accord avec celles faites sur les Agglutinés d'autres niveaux stratigraphiques, en particulier ceux de l'Albien de l'Aube [113] .

Bien que la plupart des auteurs s'accordent pour placer le rebord de la plate-forme continentale des mers actuelles entre 180 m et 200 m de profondeur, nous nous garderons encore de tenter d'estimer la hauteur d'eau sous laquelle se sont déposés les sédiments du Ruch.

En résumé, les zones dans lesquelles la population de chaque groupe benthique est abondante semblent se répartir pour la coupe du Ruch de telle sorte que schématiquement, on voit le milieu évoluer peu à peu vers des régions de dépôts plus profonds.

On passe d'un faciès à Nummulites à un faciès à Discocyclines puis à Operculines pour les Calcaires intermédiaires ; tandis que les petits Foraminifères benthiques prennent définitivement le relais dans la base des Marnes bleues.

On voit s'installer ensuite un faciès à dominante planctonique avec régression de tous les groupes benthiques jusque dans la partie haute des Marnes bleues. Dans cette partie haute où le plancton abonde, des Hoeglundina de grande taille et des Cyclammina (formes réputées de faciès profond) sont bien représentées.

Enfin, dans les niveaux terminaux, on note la régression généralisée de ces faunes qui aboutira, dans les Grès d'Annot à des faciès pratiquement azoïques.

Cette régression de la microfaune dans le haut des marnes, qui accompagne le début du processus de comblement général du bassin par les arrivées sableuses massives (arrivées qui marquent évidemment le début de la régression marine), semble donc avoir commencé dans un milieu au moins aussi profond que celui du dépôt des marnes riches en plancton. Rappelons rapidement que, les niveaux supérieurs (partie terminale des marnes et Grès d'Annot) montrent des influences nettement plus littorales (disparition dans les sédiments comportant encore de la microfaune, des Cyclammina, Hoeglundina et enfin Gyroidina).

Néanmoins, avant de conclure définitivement sur le retour de conditions écologiques littorales, il conviendrait de bien examiner la question de la tolérance, des genres considérés, à l'influence de la dessalure du milieu qui se produit alors. En l'état actuel de nos connaissances, il ne nous est malheureusement pas possible de répondre à cette question.

---

(14) Un genre devient dominant lorsqu'il représente le plus grand nombre d'espèces par rapport aux autres genres associés.

## II. - OSTRACODES

Les Ostracodes ont été triés à partir des échantillons destinés à l'étude des Foraminifères (donc prélèvement en continu, sur le terrain).

On sait que le plus souvent, le nombre d'Ostracodes varie d'une manière inverse au nombre des Foraminifères ; les proportions respectives répondant essentiellement à des paramètres écologiques.

La coupe du Ruch ne fait pas exception à cette règle : dans l'ensemble, les Foraminifères y sont bien représentés, tandis que les Ostracodes le sont systématiquement très peu. Cette carence des Ostracodes est telle, que si l'on note la présence de quelques représentants de ce groupe dans pratiquement chaque échantillon, il n'est pas possible de suivre le développement d'une espèce donnée de niveau en niveau : les différentes espèces reconnues ne font en effet, dans cette coupe, que des apparitions tout à fait sporadiques.

Ce mode de répartition se voit dès la base des Calcaires intermédiaires, puisque les Foraminifères y sont déjà très abondamment représentés. Ce faible développement des Ostracodes se poursuit dans la partie inférieure des Marnes bleues. A partir de la cote +175, le nombre des tests de Foraminifères augmente nettement alors que le nombre des Ostracodes rencontrés dans les différents refus diminue encore. Cette raréfaction sévère, s'accompagne d'ailleurs d'une diminution de la qualité de la conservation des valves : très souvent en effet, dans les refus, on retrouve les tests de ces organismes avec leurs deux valves écrasées l'une contre l'autre.

En raison de cette présence très sporadique des différentes espèces et du mauvais état de conservation de celles rencontrées dans les parties les plus élevées de la coupe, nous n'avons retenu, pour l'étude de cette microfaune, qu'un certain nombre de niveaux qui sont à la fois les plus riches en formes et les plus représentatifs de l'ensemble faunistique offert par ces Ostracodes.

Parallèlement à l'étude des Foraminifères, celle des Ostracodes sera envisagée tout d'abord du point de vue stratigraphique, puis écologique.

### I. - ETUDE STRATIGRAPHIQUE

La répartition des Ostracodes est donnée par la planche 28.

La plupart des espèces reconnues dans la coupe s'étendent sur tout l'Eocène. Deux espèces cependant, ont une extension plus restreinte et paraissent situer l'extrême base des Calcaires intermédiaires dans une fourchette d'âges allant de l'Eocène moyen à la base de l'Eocène supérieur :

- Leguminocythereis striatopunctata ( ROEMER)
- Echinocythereis aragonensis posterior OERTLI (15)

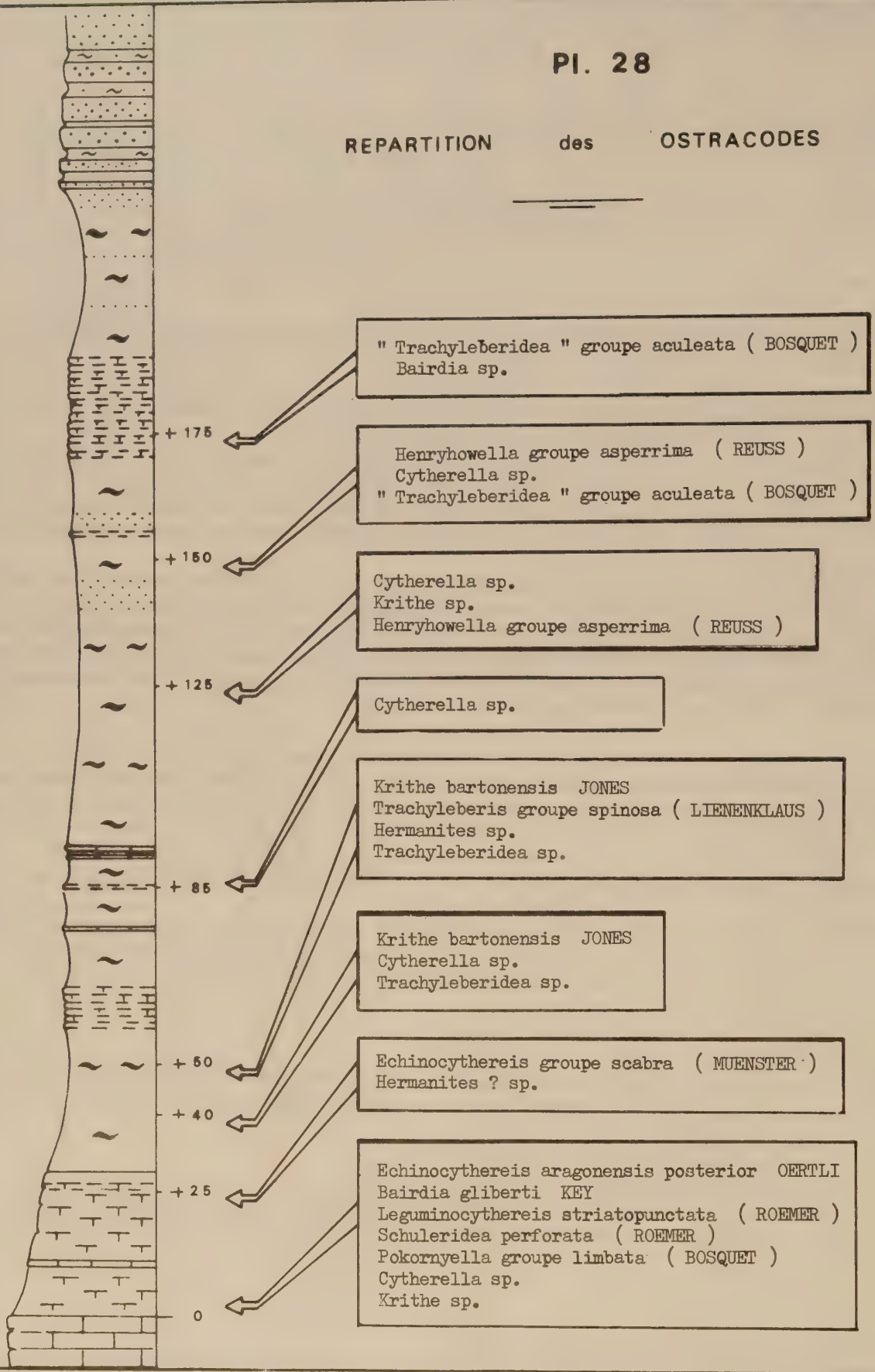
Nous n'avons pas rencontré d'Ostracodes "marqueurs de zone" du Priabonien, très probablement en raison de la pauvreté de cette microfaune. Il ne nous a donc pas été possible d'établir une stratigraphie fine basée sur ces formes.

---

(15) encore que, E. aragonensis posterior pour laquelle une telle extension est reconnue dans le bassin d'Aquitaine, pourrait selon OERTLI H.J., monter jusque dans l'Eocène supérieur, dans d'autres régions.

# Pl. 28

## REPARTITION des OSTRACODES



II. - ETUDE ECOLOGIQUE (voir planches-photos I à XVIII - Foraminifères).

Les renseignements écologiques que l'on peut déduire des associations des différentes formes qui ont été reconnues, apparaissent bien plus intéressants que ceux apportés par la stratigraphie.

On peut noter tout d'abord l'association faunistique rencontrée dans la base des Calcaires intermédiaires immédiatement au-dessus des Calcaires nummulitiques. Elle groupe les Ostracodes de milieu peu profond :

- Echinocythereis aragonensis posterior OERTLI
- Bairdia gliberti KEY
- Leguminocythereis striatopunctata ( ROEMER )
- Schuleridea perforata ( ROEMER )
- Pokornyella gr. limbata ( BOSQUET ) ;

cette association permet de situer très probablement le dépôt de ces couches sur la plate-forme néritique interne.

Dès le passage aux Marnes bleues, on remarque l'apparition des genres :

- Krithe
- Trachyleberis
- Trachyleberidea,

habituellement rencontrés dans des niveaux relativement plus profonds, correspondant plutôt à la plate-forme néritique externe, voire même au type bathyal. Cette association se reconnaît avec certitude jusqu'à la cote +175 environ, c'est-à-dire jusqu'au niveau à partir duquel les tests de Foraminifères planctoniques commencent à pulluler dans les sédiments.

Au-dessus de cette cote +175, par conséquent dans la partie supérieure des marnes, le milieu semble rester, a priori, identique à ce qu'il était immédiatement en dessous, puisqu'il a livré des formes reconnaissables ayant même signification ( mais leur mauvais état et leur rareté, dont nous avons déjà parlé, ne nous permettent pas d'avoir à ce propos une certitude absolue ).

III. - CONCLUSION

Bien que constituées d'individus disparates et en nombre restreint, les associations d'Ostracodes reconnues ici, permettent d'enregistrer un approfondissement certain du milieu de dépôt dans cette partie du bassin au moment du passage des Calcaires intermédiaires aux Marnes bleues ; les conditions de dépôt relativement profond (plate-forme néritique interne) ou profond (type bathyal), installées alors, se poursuivent avec certitude durant le dépôt de la moitié inférieure des Marnes bleues, et atteignent peut-être - car nous avons vu les restrictions qu'il convient d'apporter à cette assertion - la base des Grès d'Annot.

## III. - LE NANNOPLANCTON CALCAIRE

Devant l'absence de marqueurs en termes de Foraminifères planctoniques dans le haut de la coupe, nous avons dû nous adresser au Nannoplancton calcaire pour dater ces niveaux. Ce Nannoplancton apparaît, en effet, d'habitude assez ubiquiste, les formes se rencontrant dans des faciès assez variés [129] . De plus, d'après les études de W. BERGER en 1971 [20] et M.B. CITA [59] , il semble moins affecté que les Foraminifères planctoniques par les phénomènes de dissolution qui se produisent après la sédimentation ou durant la diagenèse. Sa taille qui permet une grande dispersion géographique, sa résistance aux phénomènes de dissolution et sa tolérance vis-à-vis de plusieurs types de milieu en feraient un bien meilleur outil stratigraphique que les Foraminifères, malheureusement, il faut compter avec leur petite taille qui leur permet de subir, bien plus facilement que les Foraminifères planctoniques des remaniements.

L'épaisseur de la formation gréseuse étant réduite sur notre coupe, nous avons dû chercher un autre secteur pour poursuivre la succession des niveaux. En conséquence, nous avons implanté un élément de coupe supplémentaire dans les basses pentes du sommet du Ruch. Ce nouvel élément de coupe fournit 11 niveaux marneux. L'étude du Nannoplancton calcaire porte au total sur l'analyse de 107 échantillons qui ont été prélevés ponctuellement.

### I. - PREPARATION

Après avoir broyé l'échantillon dans un mortier sous un film d'eau, on tamise le broyat sur une toile de 37 microns. La fraction inférieure à 37 microns est ensuite décantée. Pour chaque échantillon, on prélève une goutte (donc volume constant) de culot de décantation, que l'on étale à l'aide d'une paille stérile sur une lame porte-objet. Cette lame est posée sur une plaque chauffante (80° C). On ajoute une goutte de baume de Canada puis on recouvre avec une lamelle en veillant à obtenir une préparation aussi mince que possible et exempte de bulle d'air. Il est possible de comparer les fréquences des différentes associations faunistiques d'échantillon à échantillon puisque le volume prélevé est constant.

Les organismes sont observés à l'aide d'un photomicroscope II - Zeiss. Leur photographie ne nécessite aucune coloration préalable. Ils peuvent être également photographiés au microscope électronique à balayage (stéréoscan) de façon à mettre en évidence des détails de structure inapparents au microscope optique (planches-photos XIX et XX).

### II. - RESULTATS

#### A. - FORMES REMANIEES

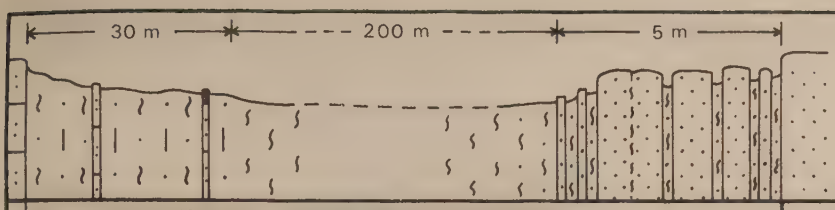
1. - Répartition

Le Nannoplancton renferme des formes remaniées du Crétacé :

--- inférieur
- Nannoconus steinmanni
- Nannoconus kamptneri
- Nannoconus globulus

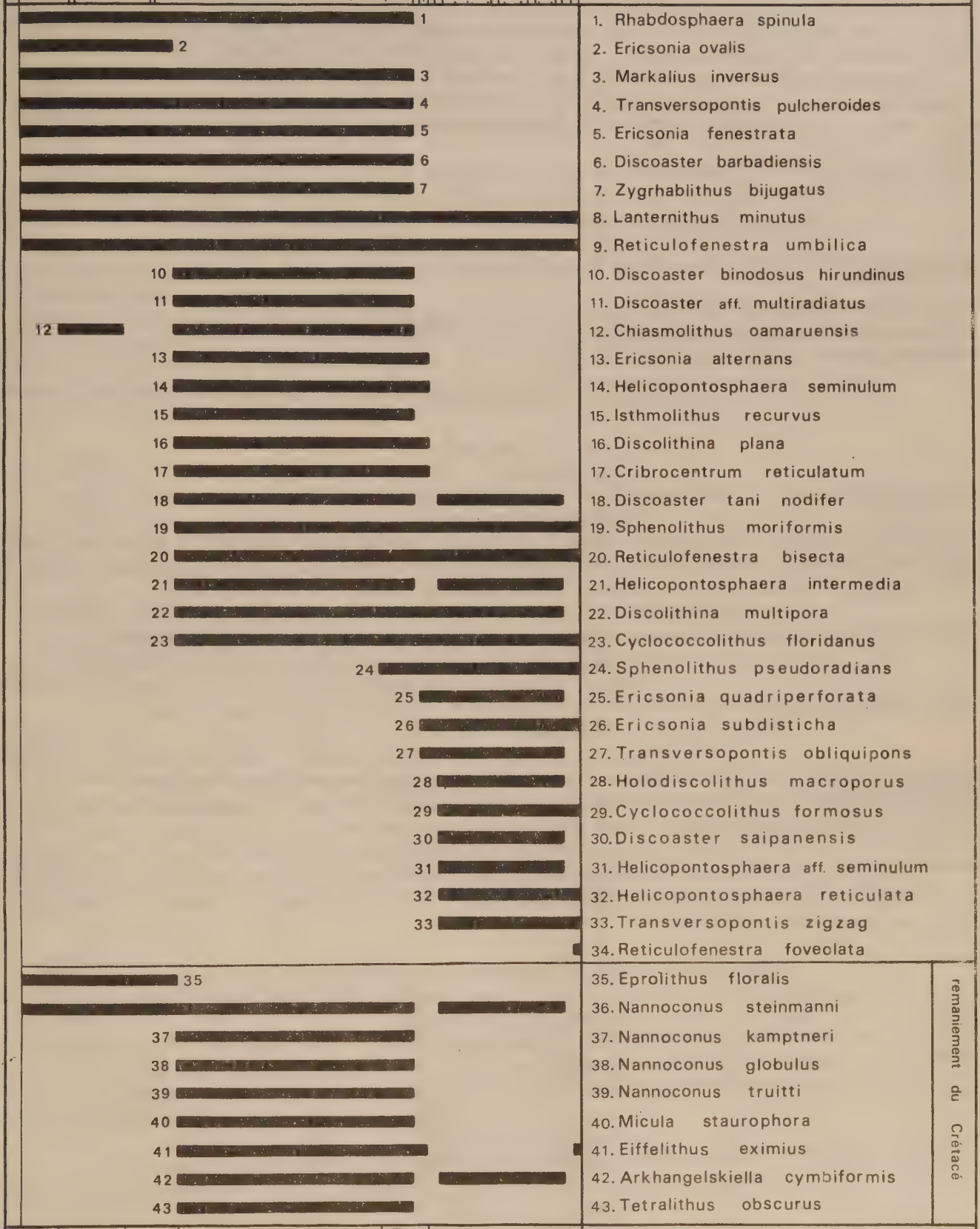
--- "moyen"
- Nannoconus truitti

--- supérieur
- Eprolithus floralis
- Micula staurophora
- Eiffelithus eximius
- Arkhangelskiella cymbiformis
- Tetralithus obscurus.




# COUPE DU RUCH

Repartition du Nannoplancton



Les organismes nannoplanctoniques remaniés, présents dans la coupe du Ruch, sont au moins du Crétacé inférieur. Aucune forme plus ancienne n'apparaît dans ces sédiments.

2. - Fréquence

Ces formes sont rares dans les Calcaires intermédiaires ; elles deviennent plus fréquentes dans l'ensemble des Marnes bleues qui montre même très localement ( cote +200 environ) un mince niveau à formes remaniées brusquement très fréquentes. Ce niveau, nous le verrons plus loin, correspond au sommet de la zone à I. recurvus.

Le Nannoplancton crétacé remanié dans les passées marneuses de l'assise sommitale gréseuse est dans l'ensemble peu abondant, voire absent ; par contre, il semble que l'on puisse déceler dans ces niveaux des remaniements de formes éocènes, formes qui restent cependant très rares (D. saipanensis, présents uniquement dans la partie ouest de la coupe).

B. - FORMES TERTIAIRES (planches-photos XIX et XX)

1. - Répartition

Elle est donnée par la planche 29.

On voit apparaître plusieurs associations distinctes qui nous permettent d'individualiser les zones de Nannoplancton actuellement reconnues [114] dans la base du Tertiaire.

a) - Une association basale est présente dans les Calcaires intermédiaires ; elle renferme, entre autres :

- Discoaster barbadiensis
- Ericsonia ovalis,

et dans sa partie médiane (cotes +8 à +20) :

- Chiasmolithus oamaruensis

Cette partie médiane est à rapporter à la zone C. oamaruensis (cotes +8 à +20) qui monterait probablement jusqu'au sommet des Calcaires intermédiaires, puisque c'est seulement au-dessus de leur toit qu'apparaît Isthmolithus recurvus.

b) - Une association recouvre l'essentiel des Marnes bleues et comprend la plupart des formes présentes dans l'association de base, auxquelles s'ajoutent de nombreuses formes nouvelles parmi lesquelles :

- Discoaster tani nodifer
- Isthmolithus recurvus (qui permet d'individualiser ici la zone à I. recurvus de la cote +30 à la cote +205).

c) - A une vingtaine de mètres sous la base des grès, s'ajoute à l'association précédente Sphenolithus pseudoradians dont l'apparition marque la base de la zone à S. pseudoradians qui monterait, dans la partie ouest de la coupe, jusque dans la passée marneuse située au-dessus du premier banc de grès de la formation des Grès d'Annot.

Notons que, à ces espèces s'ajoutent, dans ce tout dernier niveau :

- Transversopontis obliquipons
- Ericsonia quadriperforata
- Ericsonia subdisticha,

cette dernière forme étant ici encore, rare.

d) - La plupart des espèces de Nannoplancton présentes dans les marnes (dont D. barbadiensis), disparaissent au passage des grès ; elles sont remplacées par une association nouvelle dans laquelle, outre :

- Transversopontis obliquipons
- Ericsonia quadriperforata
- Ericsonia subdisticha,

on note :

- Cyclococcolithus formosus
- Transversopontis zigzag
- Helicopontosphaera reticulata
- Helicopontospheara aff. seminulum
- Holodiscus macroporus
- Reticulofenestra foveolata.

L'espèce largement dominante est alors E. subdisticha dont l'abondance relative permet de placer ces couches dans la zone à E. subdisticha (Oligocène inférieur) dès la deuxième passée de marnes sableuses dans les Grès d'Annot.

Il faut bien remarquer cependant, qu'existe encore à côté de ces formes, une espèce de Discoaster : D. saipanensis ; mais elle n'est représentée que par un nombre extrêmement restreint d'individus, très vraisemblablement remaniés.

Les premières passées marneuses de la base des Grès d'Annot sous le Ruch même, ont livré :

- Ericsonia subdisticha
- Cyclococcolithus formosus
- Discoaster tani nodifer
- Transversopontis obliquipons
- Helicopontosphaera intermedia
- Helicopontosphaera reticulata
- Isthmolithus recurvus (très rare)
- Sphenolithus moriformis
- Sphenolithus pacificus
- Sphenolithus pseudoradians (très rare)
- Lanternithus minutus.

Ces formes, à deux exceptions près, sont très fréquentes et ici encore, l'abondance relative de E. subdisticha nous permet de dater ces couches de l'Oligocène inférieur. Sous les niveaux azoïques, les marnes n'ont livré que :

- Reticulofenestra umbilica
- Ericsonia subdisticha,

cette dernière forme se retrouve, seule, dans la dernière passée marneuse de la coupe, au-dessus des horizons azoïques, immédiatement sous le faciès des grès massifs.

Comme nous l'avons déjà signalé dans le chapitre I (Lithologie), la discontinuité d'affleurement entre la coupe et les basses pentes du sommet du Ruch ne nous permet pas de corréler les différents niveaux marneux. De plus, dans le secteur du point culminant, le contact Marnes bleues - Grès est caché sous une nappe d'éboulis ; ce qui exclut, pour le moment, toute possibilité de vérifier l'hypothèse d'un passage latéral Grès-Marnes bleues, d'Est en Ouest.

## 2. - Fréquence

Rare dans les premiers mètres des Calcaires intermédiaires, le Nannoplancton devient un peu plus abondant vers leur sommet. Par contre, les formes en sont très fréquentes dans l'ensemble de l'assise marneuse excepté dans les quinze mètres terminaux où leur fréquence diminue légèrement. Les passées de marnes intercalées dans les Grès d'Annot à l'Ouest, montrent des formes qui sont soit rares, soit peu fréquentes. Sous le Ruch même, les premières passées marneuses intercalées dans les grès montrent des formes fréquentes à très fréquentes, elles sont surmontées de plusieurs passées azoïques ; la dernière passée marneuse montre à nouveau des formes qui restent cependant rares.

Si Lanternithus minutus et Reticulofenestra umbilica se rencontrent tout au long de la coupe, c'est-à-dire dans les différents milieux observés dans les sédiments du Ruch, la plupart des formes sont plus restreintes :

-- dès la base des marnes, on note un enrichissement très net de la nannofaune qui se traduit par une augmentation, à la fois de la fréquence des individus et de la diversité générique et spécifique.

-- les niveaux les plus sableux du sommet de la coupe (cote +220 environ) sont caractérisés par un renouvellement du Nannoplancton. Les formes de l'assise marneuse, ou du moins la plupart d'entre elles, qui disparaissent alors, sont remplacées par des genres et des espèces que l'on rencontre pratiquement exclusivement dans les joints marneux des grès. Ces spécimens représentent peut-être des organismes capables de mieux s'adapter à un milieu défavorable à leur développement ; cette possibilité d'adaptation ne serait en fait, qu'une tolérance car dans ces niveaux, les formes y sont rares et ne tardent pas à disparaître lorsque les conditions défavorables installées dans le milieu, s'aggravent.

# III. - CONCLUSION

Les Marnes bleues constituent donc le milieu le plus favorable au développement du Nannoplancton tandis que le milieu nettement plus sableux de l'assise gréseuse ne permet probablement l'apparition,que d'espèces les plus tolérantes. Ces espèces finissent, de toute façon, par disparaître puisque nous atteignons, dans les pentes du Ruch, des niveaux totalement dépourvus de Nannoplancton.

Cette étude nous a permis également de placer la limite Eocène-Oligocène pratiquement à la base des grès dans le Nord de la structure d'Annot.

# IV. - PALYNO-PLANCTOLOGIE

Ce titre concerne l'étude des pollens, des spores, des algues et de la matière organique détritique.

Une série de 17 échantillons a été choisie pour cette étude. Cette série intéresse tous les niveaux qui nous ont semblé les plus susceptibles de donner des orgnismes palyno-planctologiques ; ce choix a donc été fait en fonction des ruptures lithologiques et des apports détritiques.

On a donc recueilli d'une manière ponctuelle :

- 2 échantillons dans les Calcaires intermédiaires,
- 11 échantillons dans les Marnes bleues,
- 5 échantillons dans les intercalaires marneux des grès.

Ces échantillons ont été prélevés à environ 10 cm de profondeur de façon à traiter des sédiments peu altérés et surtout non pollués.

## I. - PREPARATION

Chaque prélèvement (30 g) est lavé, brossé, broyé puis tamisé. La fraction des particules de diamètre compris entre 1 mm et 3 mm subit une série d'attaques aux acides chlorhydrique puis fluorhydrique. Le résidu insoluble en liqueur dense ($Zn\,cl_2$, d = 2) est centrifugé pour éliminer les particules minérales. On en prélève une partie que l'on mélange à une goutte de mounting medium "CLEARCOL"(16) sur le support (lame de verre) ; on recouvre ensuite, avec une lamelle, après avoir ajouté une goutte de baume du Canada.

Cette méthode ne faisant appel à aucun mécanisme oxydant, permet d'étudier le milieu organique complet.

## II. - RESULTATS

Ils sont donnés par les planches 30, 31 et 32.

Le résidu examiné au photomicroscope Zeiss (planches-photos XXI et XXII) révèle en plus des constituants étudiés, la présence d'une part d'éléments minéraux qui ont résisté à l'action des acides et qui sont retenus par les particules organiques ; d'autre part de pollens actuels. Mais en raison des précautions prises lors du prélèvement et du traitement, la fréquence de ces derniers reste tout à fait négligeable par rapport aux éléments organiques de la roche.

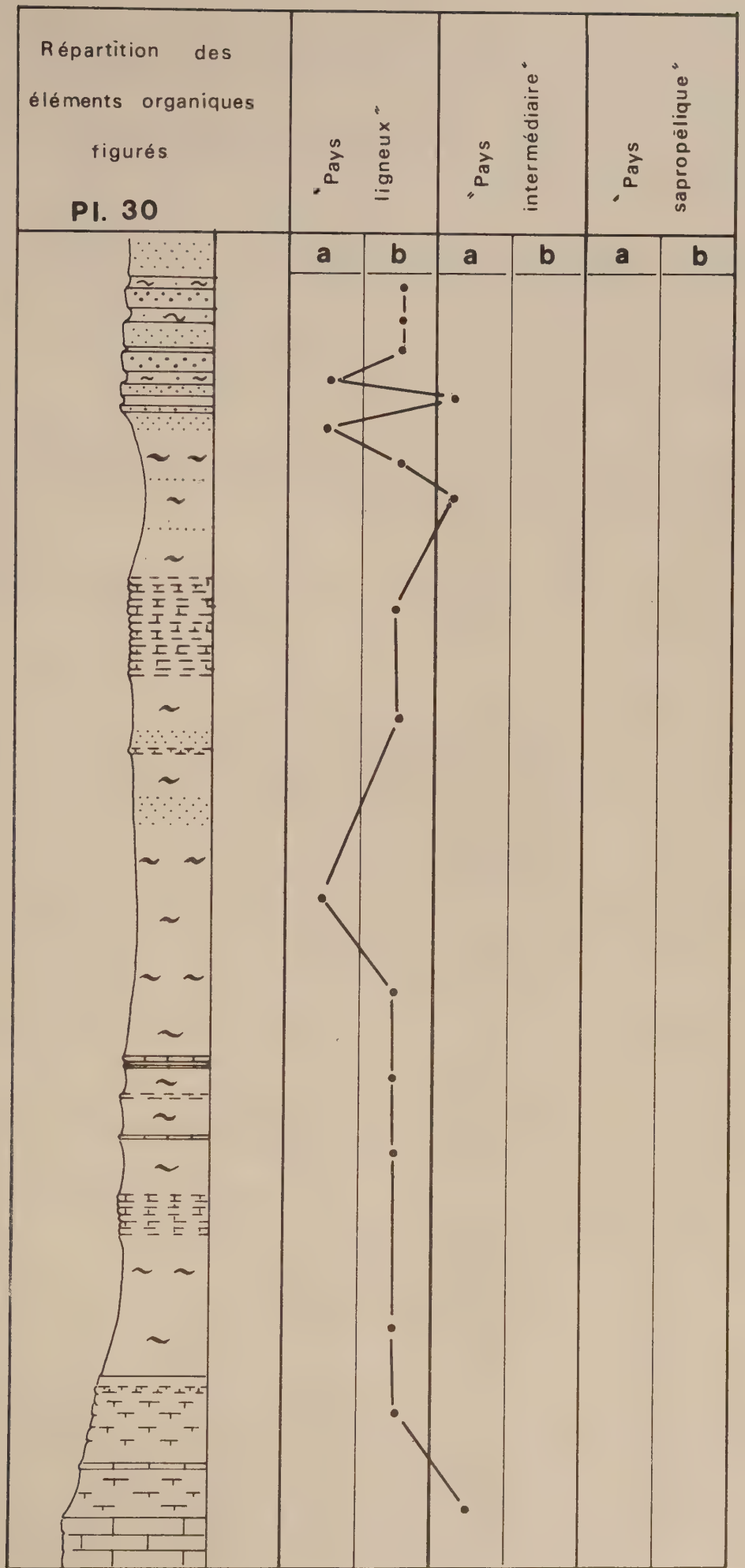
### A. - ELEMENTS ORGANIQUES FIGURES

Ce sont, par définition, des débris de végétaux supérieurs, de tissu cellulaire et de la matière organique colloïdale.

-- Trois niveaux de la coupe montrent un matériel organique constitué essentiellement d'éléments de végétaux supérieurs (d'origine continentale) : fragments ligneux plus ou moins polygonaux et noirs, trachéïdes, vaisseaux du bois, associés à des sporanges. Le premier de ces niveaux est situé à la cote +125, le deuxième au sommet des marnes (cote +220) et le dernier dans la deuxième passée marneuse de la base des grès.

---

(16) cette substance, d'origine américaine, facilite l'observation en rassemblant les organismes dans un même plan ; elle permet en outre, une excellente conservation des lames. Elle est couramment utilisée au Centre de Recherche à Pau - S.N.P.A.


Répartition des éléments organiques figurés
Pl. 30
Pays ligneux
Pays intermédiaire
Pays sapropélique
a
b
a
b
a
b

A ces constituants s'ajoute, pour 11 autres échantillons, (base des marnes surtout et sommet des grès, voir planche 30) une très faible quantité de fragments de tissu cellulaire généralement attribuables à des restes d'algues.

Ces 14 premiers échantillons constituent un ensemble qui appartient au "pays ligneux" (17) des pétroliers.

-- Par contre, trois niveaux présentent pratiquement autant de fragments ligneux que de débris de tissu cellulaire. Il s'agit de l'extrême base des Calcaires intermédiaires et de niveaux situés aux cotes +205 et +220. Ils se situent donc à la limite du "pays intermédiaire" (17).

-- Il faut remarquer que nous n'avons jamais observé de matière colloïdale sapropélique qui nous permettrait de différencier le "pays sapropélique" (17) dans les sédiments du Ruch.

## B. - POLLENS ET SPORES

### 1. - Fréquence

Suivant leur fréquence, les organismes ont été répartis en trois groupes : rares, présents, fréquents.

Les pollens et les spores sont "rares" dans les Calcaires intermédiaires et la base des marnes ; puis ils deviennent "présents" et le plus souvent "fréquents" jusqu'au sommet de la coupe.

### 2. - Répartition

La planche 31 donne la répartition des genres ou même des espèces les plus caractéristiques rencontrées dans la coupe.

On voit s'individualiser ainsi des cortèges différents.

a) - L'association :

- Cicatricosisporites embryonalis (spore)
- Stereisporites (spore)
- Camarazonosporites rudis (spore)
- Triorites sp. (pollen d'Agiospermes - Normapolle)
- Appendicisporites sp. (spore)
- Araucariacites (pollen de Gymnospermes)
- Cicatricosisporites australiensis (spore)

apparaît localisée dans les Calcaires intermédiaires et dans la base des Marnes bleues jusqu'à la cote +90, encore que l'on puisse reconnaître certaines de ces formes sporadiquement jusque sous les grès :

- Stereisporites (à la cote +130)
- Camarazonosporites rudis (à la cote +205 et dans la deuxième passée de grès).

b) - Une association différente se rencontre dans la partie supérieure des marnes (excepté dans la partie terminale) :

- Toroisporites sp. (spore)
- Lusatisporites (pollen de Gymnospermes)
- Triatripollenites (pollen d'Angiospermes - Normapolle)
- Proxapertites (pollen d'Angiospermes)

c) - Dans cette partie terminale des marnes et dans les joints marneux des grès, c'est-à-dire dans les niveaux marneux les plus détritiques, on note la présence de :

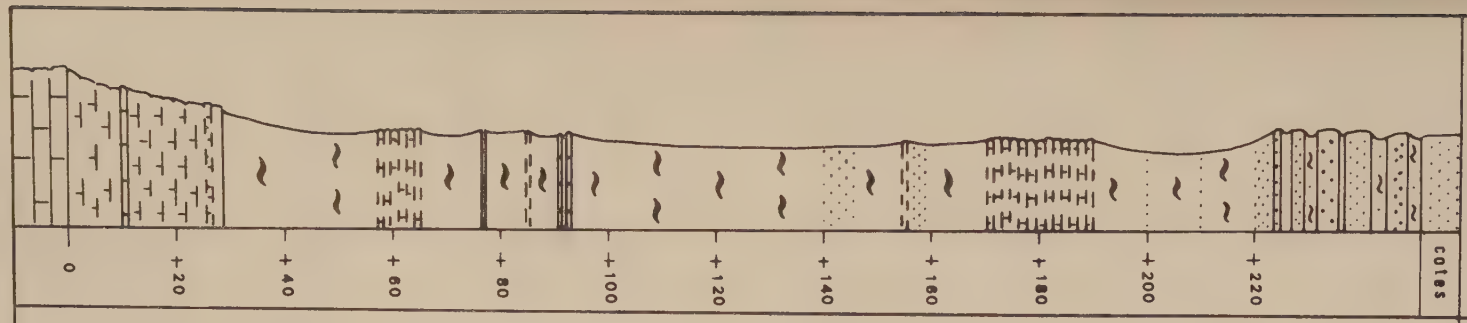
- Sernapollenites (pollen d'Angiospermes)
- Corrugatisporites (spore)
- Ephedripites (pollen de Gymnospermes)
- Zlivisporites (spore) ;

toutefois, Sernapollenites est reconnu dès la cote +125.

---

(17) le pays ligneux est caractérisé par la présence de fragments ligneux (charbonneux ou graphiteux) généralement anguleux , toujours noirs à brun-noir, sans structure observable en lumière naturelle transmise. Il se différencie : du pays sapropélique qui est caractérisé par la présence de matière organique colloïdale "grasse", en amas et de tissu cellulaire attribuable à des restes d'algues et du pays intermédiaire qui porte sa définition en soi.

Il faut noter que à l'intérieur de ces trois grands ensembles, on peut introduire des divisions secondaires, basées sur la fréquence relative des éléments rencontrés, qui apportent des précisions supplémentaires sur l'évolution du milieu et / ou des apports.




PI. 31

REPARTITION des POLLENS et des SPORES

| | |
|---|---|
| Cicatricosisporites embryonalis | |
| Stereisporites | |
| Camarazonosporites rudis | |
| Triorites sp. | |
| Appendicisporites sp. | |
| Araucariacites | |
| Cicatricosisporites australiensis | |
| Toroisporites sp. | |
| Lusatisporites | |
| Sernapollenites | |
| Triatripollenites | |
| Proxapertites | |
| Corrugatisporites | |
| Ephedripites | |
| Zlivisporites | |
| Plicatella stylosa ( Crétacé ) | Remaniement |
| Sestrosporites ( Crétacé ) | |
| Applanopsis ( Jurassique ) | |
| Ovalipolis ( Trias ) | |
| Limitisporites ( Trias ) | |

REPARTITION

des

DINOPHYCEES

**Pl. 32**




Micrhystridium

Membranilarmacia

Pentadinium

Cleitosphaeridium

Pterospermopsis

Deflandrea phosphoritica

Gonyaulacysta sp.

Cordosphaeridium

Palmnickia lobifera

Cyclonephelium

Wetzeliela cf. coleothrypta

cf. Fromea

Remaniement

Pareodinia ( Jurassique )

Odontochitina ( Crétacé )

3. - Formes remaniées

Des formes triasiques
- Limitisporites
- Ovalipollis,

jurassiques
- Applanopsis,

crétacées
- Plicatella stylosa
- Sestrasporites,

manifestement remaniées apparaissent ; elles sont localisées uniquement dans les Marnes bleues.

## C. - DINOPHYCEES

Toutes les formes rencontrées ici sont marines.

1. - Fréquence

Les Dinophycées sont "rares" dans la moitié inférieure de la coupe, puis seulement "présentes" au-dessus ; deux niveaux cependant (cote +125 et +215) montrent une fréquence notable de ces algues.

2. - Répartition

a) - Les formes
- Pterospermopsis
- Deflandrea phosphoritica

sont présentes pratiquement tout au long de la coupe.

b) - Tandis que
- Micrhystridium
- Pentadinium
- Cleitosphaeridium

sont localisées dans les Calcaires intermédiaires et dans la base des marnes.

c) - On rencontre
- Palmnickia lobifera
- Wetzliela cf. coleothrypta
- cf. Fromea

dans la partie supérieure des marnes.

d) - Aucune espèce n'apparaît restreinte aux marnes gréseuses ; en effet :
- Pterospermopsis
- Deflandrea phosphoritica
- Cordosphaeridium
- Cyclonephelium,

présentes dans les intercalaires marneux des Grès d'Annot, se rencontrent déjà dans les Marnes bleues.

3. - Formes remaniées

Des formes jurassique (Pareodinia) et crétacée (Odontochitina) remaniées à l'Eocène apparaissent ici localisées dans la base des Marnes bleues.

# III. - INTERPRETATIONS

## A. - EVOLUTION DES CONDITIONS DE DEPOTS

Dans les Calcaires intermédiaires les formes d'origine continentale (pollens et spores) et les formes marines (Dinophycées) sont rares et de surcroît, mal conservées.

Dans les Marnes bleues, l'abondance des pollens et des spores et l'apparition des formes remaniées impliquent une augmentation du détritisme fin, donc une augmentation du niveau d'énergie ou un rapprochement de la source des apports depuis le dépôt des Calcaires intermédiaires.

D'après le tableau de répartition des organismes remaniés on note que le détritisme apporte tout d'abord des formes du Crétacé, puis du Jurassique et enfin du Trias, ces dernières, immédiatement avant le dépôt des grès. Tout se passe comme si nous étions en présence des produits d'une érosion atteignant successivement des couches de plus en plus anciennes d'une série stratigraphique normale située sur l'aire continentale voisine qui alimentait cette partie du bassin.

B. - VARIATION CLIMATIQUE

La présence de Normapolles (Triorites et Triatriopollenites) dans les Calcaires intermédiaires et dans les Marnes bleues implique (18) un climat tempéré chaud et humide.

Ces Normapolles, en particulier le groupe des Triatriopollenites disparaissent dès la troisième passée marneuse dans les Grès d'Annot ; d'après KRUTZSCH, on est tenté d'envisager un refroidissement climatique au cours du dépôt des grès.

Or, Ephedripites (pollen de Gymnospermes) qui apparaît dans le sommet des marnes, se rencontre en climat tempéré chaud (peut-être même chaud) relativement plus sec, se rapprochant du climat méditerranéen actuel. L'apparition de cette forme marque une diminution del'humidité et une augmentation très probable de la température, ce qui exclut toute cause climatique à la disparition des Normapolles dans la coupe. Cette disparition est donc probablement due à l'extinction de ce groupe, car le cortège associé de pollen et de spores, reste à ce moment, aussi bien fourni qu'auparavant.

Nous admettrons donc une extinction stratigraphique du groupe en question dans le sommet de la coupe.

C. - ATTRIBUTIONS STRATIGRAPHIQUES

Les pollens, les spores et les Dinophycées présents dans la coupe confirment bien l'appartenance de la majeure partie de celle-ci à l'Eocène supérieur dès la cote +105. En dessous de cette cote, tous les organismes reconnus existent à la fois dans l'Eocène moyen et l'Eocène supérieur ; ce qui ne nous permet pas, en termes palynoplanctologiques, de dater cette partie basale avec plus de précision.

Les microfossiles observés dans la partie supérieure de la coupe montrent un fait intéressant : Sernapollenites (pollen d'Angiospermes) et le groupe des Triatriopollenites (Normapolles) (19) qui sont des formes de l'Eocène supérieur disparaissent à partir de la deuxième passée marneuse des grès, tandis que Deflandrea phosphoritica (Dinophycée) connue jusque dans la base de l'Oligocène, est encore présente dans la quatrième passée marneuse des grès.

Nous avons vu que les Normapolles devaient, en toute logique, s'éteindre dans la base des Grès d'Annot ; ce qui permet d'envisager un âge oligocène très probable pour les niveaux immédiatement supérieurs. Nous ne saurions certes attribuer des couches à l'Oligocène, sur la foi de l'absence d'un microfossile caractéristique de l'Eocène (d'autant plus que la disparition d'un organisme dans une lame mince ne prouve pas sa disparition totale dans les sédiments de ce niveau). Cette disparition, qui n'a pas de cause climatique, s'accompagne de celle, très probable elle aussi, de Sernapollenites (pollen strictement éocène). Il faut noter aussi que seules les formes réputées éocènes et oligocènes (exemple : Deflandrea phosphoritica) franchissent la limite marquée par la fin des Normapolles.

IV. - CONCLUSION

L'étude palynoplanctologique des sédiments du Ruch révèle différentes tendances dans cette coupe.

Tout d'abord, une augmentation du niveau d'énergie, mise en évidence par la présence d'influences détritiques dès la base des marnes.

Ensuite, une évolution du climat qui se traduit par un réchauffement de la température accompagné d'une diminution de l'humidité sur l'aire continentale alimentant le bassin.

Les résultats de cette étude ne nous autorisent pas à préciser l'âge de la base des Marnes bleues (Eocène moyen à supérieur), par contre, ils nous permettent d'attribuer avec certitude la partie supérieure des Marnes bleues à l'Eocène supérieur et d'envisager, avec une très forte probabilité, le passage à l'Oligocène au sein du membre basal des Grès du Ruch.

---

(18) le groupe des Normapolles est basé uniquement sur la morphologie des grains de pollens. D'après KRUTZSCH [98], les Normapolles sont des indicateurs de variation climatique ; leur augmentation dans les sédiments est un signe de réchauffement et leur diminution, un signe de refroidissement.

(19) d'après E. ROCHE [127], les Normapolles sont des pollens dominant dans les gisements du Crétacé supérieur et du Paléocène du domaine européen-nord atlantique. Ils s'éteignent pendant le passage Eocène-Oligocène, ce qui n'exclut pas que l'on rencontre encore quelques rares représentants dans les sédiments de l'extrême base de l'Oligocène.

# CHAPITRE IV : CONCLUSION GENERALE

I. - RESULTATS STRATIGRAPHIQUES

II. - RESULTATS D'ORDRE PALEOECOLOGIQUE

III. - RESUME

## I. - RESULTATS STRATIGRAPHIQUES

La richesse des sédiments du Ruch en microfossiles (Foraminifères et Nannoplancton calcaire), une très bonne conservation des tests de Foraminifères (pour l'essentiel de la coupe) d'une part et des restes nannoplanctoniques (pour son ensemble) d'autre part, enfin le renouvellement des espèces ont permis de caractériser un certain nombre de biozones dans la coupe.

La base des Calcaires intermédiaires, en termes de Nummulites, appartient à la zone C définie par A. BLONDEAU et al.

La majeure partie de la coupe (jusqu'à la cote +188) peut être placée dans les zones à G. semiinvoluta puis à G. cerroazulensis s.l., en termes de Foraminifères planctoniques (H. BOLLI).

Dans la zonation de W. BLOW, la coupe s'étend depuis la partie supérieure de la zone P 15 jusque dans la partie inférieure de P 17 que l'on peut caractériser jusqu'à la cote +188. Nous avons vu que, dans les 35 m terminaux des Marnes bleues et dans la formation des Grès d'Annot, la zonation en termes de Foraminifères planctoniques n'était plus possible.

L'ensemble de ces renseignements confirme et précise l'appartenance de la coupe au Priabonien jusqu'à la cote +188 au moins ; l'âge des niveaux terminaux ne peut être déterminé par cette méthode, en particulier le problème épineux de la datation des Grès d'Annot (et donc de la limite Eocène-Oligocène) ne peut pas être résolu par le seul examen des Foraminifères.

L'étude palyno-planctologique nous suggère, sans plus, le passage Eocène-Oligocène au-dessus des premiers niveaux gréseux dans la base des Grès d'Annot. En l'état actuel de nos connaissances dans cette discipline, cette limite n'est que probable ici.

Le Nannoplancton calcaire, avec la zone d'abondance de E. subdisticha, confirme néanmoins cette présomption en caractérisant la première zone de Nannoplancton calcaire de l'Oligocène (NP 21 c'est-à-dire la zone à E. subdisticha). En termes de Nannoplancton donc, la limite Eocène-Oligocène se place de façon certaine dans la deuxième passée marneuse de la formation des Grès d'Annot, à l'emplacement de notre coupe.

Or, E. MARTINI [114] publie en 1970 un tableau de correspondances entre les biozonations de Nannoplancton calcaire et de Foraminifères planctoniques. Ce tableau est confirmé en 1972 par W. BERGGREN [21] (voir tableau X ). D'après les auteurs modernes donc, les corrélations entre les deux types de biozones doivent être envisagées de la façon suivante :

Tableau X - Corrélations des biozones (W. BLOW, 1969 et E. MARTINI, 1970).

| Zones de Foraminifères planctoniques W. BLOW 1969 | | Zones de Nannoplancton calcaire E. MARTINI 1970 | |
|---|---|---|---|
| P 18 | G. tapuriensis | NP 21 | E. subdisticha |
| P 17 | G. gortanii / G. centralis | NP 20 | S. pseudoradians |
| P 16 | C. inflata | NP 19 | I. recurvus |
| P 15 | G. mexicana (1925) | NP 18 | C. oamaruensis |

Ce tableau nous conduit à effectuer les corrélations des différentes biozonations pour les sédiments du Ruch (Pl. 33)

La zone à C. oamaruensis se situe entre les cotes +8 et +20, intervalle dans lequel ce marqueur n'est pas accompagné par I. recurvus. La partie tout à fait basale du Priabonien (zone P 15) serait donc présente ici, dans la mesure où, bien entendu, l'absence de I. recurvus n'est pas simplement due à la proximité du littoral ; remarquons cependant que dans ces niveaux (cote +13) on a relevé une forme probablement attribuable à G. mexicana mexicana (1972) qui nous placerait, elle aussi, dans l'extrême base de la zone à G. semiinvoluta.

I. recurvus semble donc bien apparaître dans la coupe, dès la base de la zone dont il est le marqueur, par conséquent nous nous situons ici presque au sommet de la moitié de la zone P 15. Cette zone de Foraminifères planctoniques, rappelons-le, n'était que probable en raison de l'absence du marqueur G. semiinvoluta (anciennement G. mexicana 1925) dans ces couches.

Par ailleurs, la zone à I. recurvus se termine à la cote +205, cote à laquelle apparaît S. pseudoradians (limite inférieure de la zone à S. pseudoradians - NP 20). Or, à ce niveau, l'extinction de Cribrohantkenina inflata qui marque la limite inférieure de P 17 a déjà eu lieu (cote +150). Par conséquent, les limites inférieures de P 17 et NP 20 ne correspondent pas dans la coupe : il semble donc bien exister ici, un hiatus entre l'extinction de C. inflata et l'apparition de S. pseudoradians. Notons toutefois, que W. BERGGREN, suivant en celà ses prédécesseurs, donne des limites inférieures seulement probables pour ces deux biozones. Il n'est donc pas exclu que ces deux marqueurs ne se relaient pas exactement dans le temps, ce qui expliquerait la présence d'un décalage tel que nous l'observons dans les sédiments du Ruch.

Il faut donc l'aide conjuguée des biozonations en termes de Nummulites, de Foraminifères planctoniques et de Nannoplancton calcaire pour préciser l'âge de la totalité de la coupe.

Les Foraminifères planctoniques nous permettent de dater des sédiments à condition qu'ils se soient déposés dans un milieu marin assez ouvert.

Ces organismes pélagiques montrent une nette dépendance vis-à-vis du milieu de dépôt ; ils sont absents des sédiments littoraux et peuvent aussi disparaître lorsque les conditions de température et de turbidité, entre autres, varient dans un milieu qui reste à la même profondeur. Une apparition ou une extinction de marqueur de zone ne peut être utilisée valablement qu'en série continue et dans des conditions physico-chimiques uniformes (notons, à ce propos, qu'une variation des conditions de milieu ne se traduit pas obligatoirement par un changement de faciès dans les sédiments). C'est donc avec circonspection qu'il convient d'utiliser les niveaux d'apparition et d'extinction de ces formes.

## II. - RESULTATS D'ORDRE PALEOECOLOGIQUE

Nous insistons tout particulièrement sur le fait qu'il s'agit, ici, d'une tentative de reconstitution paléoécologique. Les interprétations que nous proposons, ne constituent pour l'instant que les hypothèses les plus probables que l'on puisse faire sur ces niveaux. Ces hypothèses devront être comparées avec celles que l'on pourra avancer après l'examen d'autres coupes prélevées dans le Tertiaire de cette région et il est certain qu'elles ne pourront prendre toute leur véritable signification qu'après cette étude comparative.

Ce travail reste donc une étape préliminaire et doit être considéré comme tel dans l'attente de résultats complémentaires.

Notre but est d'essayer de mettre en évidence d'éventuelles coïncidences, voire des relations entre les variations des paramètres lithologiques et surtout géochimiques du sédiment et ses variations faunistiques. De ces coïncidences, on peut éventuellement déduire certaines exigences écologiques du peuplement et appréhender ainsi une évolution paléogéographique voire paléoclimatique.

De la confrontation de tous les tableaux de résultats donnés dans les chapitres précédents nous avons tenté :

-- tout d'abord, de dégager le mode de variation de l'ensemble de la population fossile rencontrée dans les couches du Ruch (Foraminifères, Ostracodes, Nannoplancton, Dinophycées, spores et pollens).

-- ensuite, de déceler d'éventuelles corrélations de facteurs qui pourraient nous permettre de mieux caractériser les différents niveaux écologiques.

Récapitulons les principales ruptures de la coupe du Ruch, mises en évidence par les diverses méthodes : quatre nous paraissent essentielles.

## I. LES RUPTURES (Pl. 33)

a) L'une des plus importante - et des plus notables sur le terrain - est le passage brutal Marnes bleues - Grès d'Annot. Elle est enregistrée par la majorité de la microfaune. Les Foraminifères disparaissent dès les premières passées marneuses entre les bancs de grès, et, si le Nannoplancton est encore assez bien représenté au-dessus pour permettre des attributions stratigraphiques, il régresse également beaucoup à ce niveau. La microflore (spores et pollens) y est présente mais elle est déjà diluée dans la masse des apports détritiques.

Cette rupture se traduit également dans les minéraux argileux, dans la teneur en bore et bien entendu dans tous les indicateurs de détritisme (analyses des minéraux et de la matière organique allochtone).

b) La deuxième rupture - également observable sur le terrain - est celle du passage brutal Calcaires intermédiaires - Marnes bleues. Elle se retrouve pratiquement dans les résultats de chacune des techniques appliquées pour l'étude. La microfaune y subit une évolution brutale. Les formes de mer ouverte (petits Foraminifères benthiques, plancton, Nannoplancton et Dinophycées) deviennent dans l'ensemble abondantes alors que les grands Foraminifères régressent brusquement. La faune d'Ostracodes se renouvelle avec des genres typiques de la plate-forme néritique externe-zone bathyale.

Il est indéniable que le milieu s'approfondit à ce niveau, mais cet approfondissement est certainement plus progressif que nous le laisserait supposer ce changement brusque de faciès.

c) La troisième rupture à la cote +93 - encore notable sur le terrain - apparaît uniquement dans la lithologie. Elle n'est pas enregistrée par les autres paramètres.

d) Enfin, la quatrième - non décelable sur le terrain - se situe vers le milieu des Marnes bleues (cote +118, très approximativement), à la disparition de la tendance au confinement relevée dans la base de la coupe, donc à l'apparition du milieu marin franc. En effet, la teneur en bore diminue régulièrement à partir de ce niveau ; elle est suivie parallèlement par la diminution de la teneur en carbonates.

Dès ce niveau également, les Foraminifères planctoniques dominent largement l'ensemble faunistique en compagnie d'Agglutinés.

Cette rupture marque donc le passage à un type de dépôt caractéristique d'un milieu marin franc.

Nous voyons donc que les principales ruptures mises en évidence par les différentes méthodes ne coïncident pas avec celles des biozones. Seule la troisième marque, ici, la base de la zone P 16.

## II. EVOLUTION DU MILIEU DE SEDIMENTATION

### a) Dans les Calcaires intermédiaires et dans la base des Marnes bleues, jusqu'à la cote +118 environ

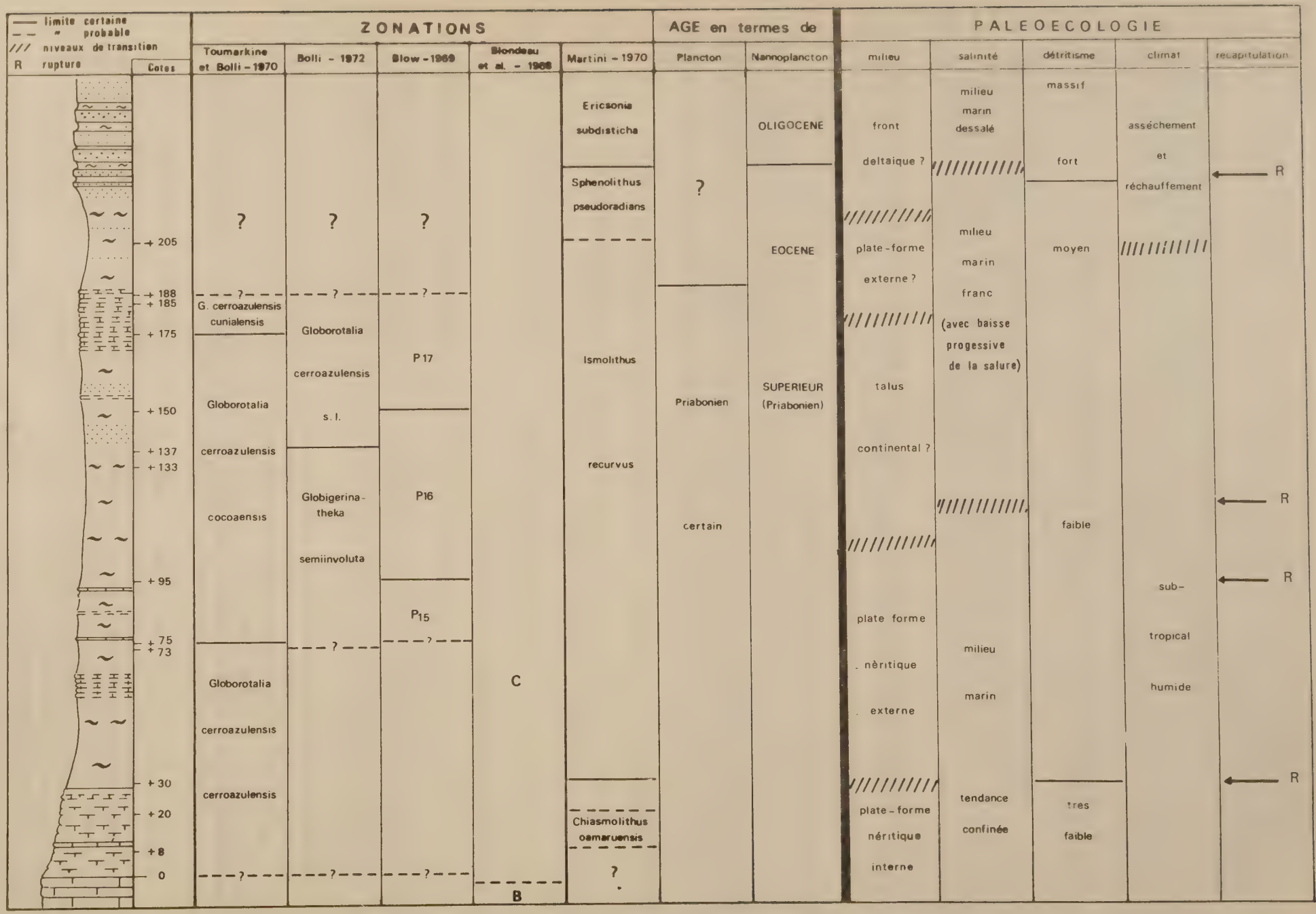
Dans le milieu marin installé, on note une légère tendance au confinement qui domine jusqué vers la cote +118. Ce milieu est assez réducteur surtout au sommet des Calcaires intermédiaires (niveau de faible énergie). Le détritisme est fin. Le dépôt de fer, de glauconie, de minéraux argileux tels que montmorillonite et interstratifiés illite-montmorillonite est constant.

Dans cette ambiance, la population est très riche et très diversifiée.

Dans les Calcaires intermédiaires, on rencontre des organismes de type peu profond tels que Nummulites, Discocyclines puis Operculines avec de petits Foraminifères benthiques et quelques Ostracodes caractéristiques de la plate-forme néritique interne. La macrofaune de taille normale y est très abondante : Lamellibranches, Gastéropodes, Cœlentérés et Echinodermes. Les organismes transportés (spores et pollens) sont rares. Les formes que l'on rencontre dans des milieux plus profonds sont rares également (Foraminifères planctoniques, Nannoplancton et Dinophycées).

Il est intéressant de noter que c'est à la cote +23, que se développent largement les Anomalinidae s.l. et en particulier la forme fixée Cibicides qui constitue à elle seule 80 % de la faune de ce groupe. Les auteurs modernes, Y. LE CALVEZ en particulier, placent ce genre dans des zones d'herbier (que l'on sait généralement riche en faune). On ne peut parler de confirmation ici, après l'examen d'une seule coupe, mais il faut remarquer que les conditions particulièrement réductrices jointes à la richesse en matière organique autochtone, la tendance confinée et le très faible niveau d'énergie caractérisant ce niveau, semblent plaider en faveur de la présence d'un tel faciès au voisinage du sommet des Calcaires intermédiaires.

Ces Calcaires ont été définis comme relativement peu profonds ; il paraît donc étonnant de n'enregistrer que de faibles variations géochimiques dans le contexte sédimentaire durant tout le dépôt ; le fait que le milieu évolue dans




**Pl. 33** Récapitulation des principaux résultats stratigraphiques et paléoécologiques

une ambiance nettement confinée et nettement réductrice qui semble s'aggraver encore, peu avant le sommet de cette formation, nous conduit à envisager que le secteur du bassin, dans lequel s'effectuait le dépôt, pouvait fort bien être isolé de la mer ouverte par une barrière sous-marine par exemple. Par ailleurs, les influences directement continentales et les variations brutales des facteurs physico-chimiques qu'elles entraînent d'ordinaire n'y sont pas sensibles non plus. Ce niveau apparaît, en dernière analyse, comme une région de dépôt de la plate-forme néritique interne, plus ou moins coupée des influences à la fois côtières et franchement marines.

Le faciès d'herbier décelé dans la partie haute des Calcaires intermédiaires est limité à un niveau de faible épaisseur, car au-dessus, dans les couches qui constituent le toit de cette formation, les Cibicides régressent brutalement et les Foraminifères planctoniques arrivent en masse. Les conditions réductrices disparaissent, corrélativement à l'augmentation du niveau d'énergie qui se traduit aussi par l'augmentation des fréquences des organismes transportés (spores et pollens) dans ces niveaux.

Cette limite (cote +23) est donc plus importante que ne laisse supposer l'observation des sédiments sur le terrain. Le passage Calcaires intermédiaires - Marnes bleues (à la cote +29), qui est brutal est donc déjà annoncé, cote +23, par une modification de l'environnement enregistrée par la microfaune.

Dans la base des Marnes bleues, on voit régresser la population de grands Foraminifères benthiques (qui se réduit rapidement à des "traces" d'Operculines) et la macrofaune de taille normale (qui ne reste représentée que par quelques Lamellibranches seulement). Une riche macrofaune naine de Lamellibranches, de Brachiopodes et de Gastéropodes se développe cependant ici. On note aussi la présence de quelques animaux fouisseurs (terriers de vers). Le benthos de petite taille foisonne dans ces niveaux. Quelques Ostracodes typiques de la plate-forme néritique externe - zone bathyale complètent cet ensemble faunistique.

En résumé, il apparaît dans ces niveaux, un net approfondissement du milieu de dépôt joint à une augmentation du niveau d'énergie, qui s'annonce dans le toit de la formation des Calcaires intermédiaires et se précise dans la base des Marnes bleues.

b) Dans les Marnes bleues de la cote +118 jusqu'à la cote +212 environ

Le milieu caractérisé ici est franchement marin. Les tendances réductrices ont totalement disparu et les eaux marines subissent une dessalure progressive due probablement à des apports d'eau douce. Le détritisme augmente légèrement, ce qui se traduit par une augmentation de la concentration en illite ; alors que les interstratifiés diminuent.

La faune est riche en types de milieu profond : plancton, Nannoplancton sont toujours bien représentés, alors que Cyclammina et Hoeglundina de grande taille (formes réputées de mer relativement profonde avec Gyroidina) apparaissent seulement lorsque le plancton domine largement la population.

C'est probablement dans ces niveaux que se situent les dépôts les plus profonds rencontrés dans la coupe.

L'ensemble est associé à de très rares Ostracodes.

c) Dans les niveaux terminaux des Marnes bleues et dans les Grès d'Annot

Le milieu est dessalé. Le détritisme est important à la fois en éléments minéraux et en matière organique allochtone Les minéraux argileux qui se déposent, sont essentiellement de l'illite et de la chlorite.

La microfaune de mer largement ouverte et probablement même, de milieu relativement profond, régresse ; ce sont les Foraminifères planctoniques, les Cyclammina, les Hoeglundina puis les Gyroidina et le Nannoplancton. Par contre, les Dinophycées, que l'on trouve fréquemment dans les zones d'apports de sels minéraux, sont bien développées. Les organismes transportés (spores et pollens) sont aussi très nombreux. Enfin, les bancs de grès montrent de nombreux terriers de vers témoignant d'une certaine forme de vie benthique dans ces niveaux.

La partie gréseuse de la coupe est constituée tout d'abord par une formation détritique séquentielle (à rythmes visibles à des échelles différentes) puis par une formation détritique massive. Nous avons vu que ces successions s'interprétent de manière satisfaisante, à l'heure actuelle, par la mise en place de dépôts d'origine fluviatile tels que ceux que l'on rencontre dans les fronts de delta pour le membre basal et sur la plate-forme deltaïque pour le membre supérieur, massif.

Les apports d'eau douce sont d'ailleurs évidents au moment du dépôt des Grès d'Annot puisque la dessalure du milieu y est très nette ; elle s'accompagne de l'augmentation du détritisme avec le relais des hydrolysats par les résistats.

## III. - RESUME

La transgression marine s'effectue, dans notre secteur, sur un substratum crétacé durant le Priabonien (étage qui débute à -43 MA si l'on se réfère aux datations absolues proposées par W. BERGGREN [21] .

Les aires continentales voisines sont soumises, à cette époque, à un climat probablement de type tropical humide.

La transgression progresse apparemment par saccades au moins pendant le Priabonien inférieur, permettant l'installation de niveaux écologiques assez caractérisés, littoraux (dans la zone à C. oamaruensis que l'on sait s'étendre [21] de -43 MA à -42 MA), à faciès d'herbier, puis à dominante de petits Foraminifères benthiques.

Bien que le milieu soit légèrement confiné, la sédimentation argileuse, témoigne d'apports se faisant sous un niveau d'énergie en progression.

Dès le milieu de la coupe, c'est-à-dire un peu au-dessus de la base de la zone à C. inflata (qui, elle, est fixée à -40,5 MA environ), on voit le détritisme, donc le niveau d'énergie augmenter encore. La dessalure du milieu, légèrement confiné jusqu'alors s'amorce dès à présent et la tendance au comblement se précise. Il semble que nous soyons en droit d'affirmer que, dans le secteur du Ruch, les dépôts prennent place dans la partie tout à fait distale d'un appareil deltaïque dont les éléments détritiques les plus lointains, donc les plus fins, auraient pu déjà participer au dépôt des assises sous-jacentes.

Le milieu semble s'approfondir encore, mais de manière assez régulière (subsidence progressive ?), jusqu'à atteindre les plus grandes profondeurs de dépôts que l'on puisse déceler dans la coupe et qui sont présentes pratiquement dès la base de la sous-zone à G. cerroazulensis cunialensis.

Les premières passées sableuses qui se produisent alors dans les marnes montrent que l'appareil deltaïque gagne vers le large donc que la zone à faciès plus littoral, "régressif" s'approche nettement du secteur du Ruch.

L'"étouffement" de la population de Foraminifères autres que les Agglutinés, par des eaux probablement troubles, débute dans le sommet de la zone à I. recurvus et se confirme dans la zone à S. pseudoradians (-38 MA).

Enfin, le delta proprement dit s'installe avec tout d'abord la partie détritique de son front (membre inférieur des Grès d'Annot), dès la base de l'Oligocène (-37,5 MA) puis avec ses dépôts de plate-forme, soit par simple progradation, soit par un relèvement du substratum (ce dernier mécanisme, d'origine tectonique, expliquerait peut-être mieux le passage de dépôts relativement profonds à des dépôts de plate-forme deltaïque et pourrait expliquer en partie la cause de la modification climatique qui se produit alors. On enregistre, en effet, sur les aires continentales voisines une élévation de la température et une diminution de l'hygrométrie).

C'est cet appareil deltaïque qui est manifestement à l'origine du comblement définitif du bassin dans le secteur de la coupe du Ruch.

## BIBLIOGRAPHIE


1 - AGIP MINERARIA (1957) -
Foraminiferi padani (Terziaro e Quaternario).
Milano, 52 pl.

2 - ANDREOLI M. (1965) -
Foraminiferi planctonici delle "Marne di Monte Piano" (serie di Antognola, Appennino settentrionale parmense).
Bollettino della Società Paleontologica Italiana, vol. 4, n° 2, p. 245-262.

3 - ARTRU Ph. (1968) -
"Répartition du bore et de quelques éléments-traces dans des bassins semi-euxiniques du miogéosynclinal alpin (Terres noires jurassiques, France Sud Est)".
Bull. Centre Rech. Pau - S.N.P.A., vol. 2, n° 1, p. 83-100.

4 - ARTRU Ph. (1967) -
Sur une accumulation de débris végétaux dans les Terres noires de l'écaille de Barcillonnette (Hautes-Alpes).
C.R. Acad. Sci. Paris, t. 262, p. 2696-2698.

5 - ARTRU Ph., DUNOYER de SEGONZAC G., COMBAZ A., GIRAUD A. (1969) -
Variations d'origine sédimentaire et évolution diagénétique des caractères palynologiques et géochimiques des Terres noires jurassiques en direction de l'arc alpin (France, Sud Est).
Bull. Centre Rech. Pau - S.N.P.A., vol. 3, n° 2, p. 357-376.

6 - ARTRU Ph., GAUTHIER J. (1968) -
Evolution géochimique et diagenétique d'une série miogéosynclinale (Lias inférieur à Berriasien) d'après l'étude du sondage de Valvignère (France, Sud Est) -
Bull. Centre Rech. Pau - S.N.P.A., vol. 2, n° 1, p. 101-116.

7 - AVERBURG N.V. (1962) -
Désagrégation des roches silico-marneuses sous l'action simultanée de l'hyposulfite et de l'eau oxygénée.
Vopr. Micropal. S.S.S.R., n° 6, p. 147-148, trad. B.R.G.M., n° 4123.

8 - BABIN C. (1966) -
Les Mollusques bivalves en tant qu'indicateurs écologiques. Application au Paléozoïque armoricain.
C.R. du 91e Cong. Soc. Sav. Rennes, t. 2.

9 - BÁLDI-BEKE (1971) -
The eocene Nannoplankton of the Bakony mountains, Hungary.
Coll. Strat. Eoc. 1969 - Ann. Inst. geol. publ. Hungarici, vol. LIV, fasc. 4, pars 1, p. 13-39, Budapest.

10 - BALTES N. (1969) -
Distribution stratigraphique des Dinoflagellés et des Acritarches tertiaires de Roumanie.
Proceedings of the first conf. on planktonic microfossils, Geneva 1967, vol. 1, p. 26-45.

11 - BANDY O.L. (1960) -
General Correlation of Foraminiferal structure with environnment.
Report of the Intern. Geol. Cong., Approaches to Paleoecology, p. 75-90.

12 - BANDY O.L. (1949) -
Eocene and Oligocene Foraminifera from Little Stave Creek, Clarke Contry, Alabama.
Bull. Amer. Paleon., vol. 32, n° 131, p.

13 - BANDY O.L., INGLE J.C., LANKFORD R.R., LOWENSTRAM H.A. (1967) -
Benthic Foraminifera as environmental indices.
Amer. Geol. Inst., A.G.I., Short course lecture notes Paleoecology.

14 - BANDY O.L., INGLE J.C., LANKFORD R.R., LOWENSTRAM H.A. (1967) -
Planktonic Foraminifera and Paleooceanography.
Amer. Geol. Inst., A.G.I., Short course lecture notes Paleoecology.

15 - BANDY O.L., THEYER F. (1971) -
Growth variation in Globorotalia pachyderma (EHRENBERG)
Antartic Jour. of the U.S., vol. VI, n° 5, p. 172-174.

16 - BARNARD T. (1954) -
Hantkenina alabamensis CUSHMAN and some related forms.
Geol. Magazine, vol. XCI, n° 5, p. 384-390.

17 - BAUMANN P. (1970) -
Mikropaläontologische und stratigraphische Untersuchungen der obereozän-oligozän Scaglia im zentralen Appennin.
Eclogae Geol. Helv., vol. 63, n° 3, p. 1133-1211.

18 - BECKMANN J.P. (1957) -
Chiloguembelina LOEBLICH and TAPPAN and related Foraminifera from the lower Tertiary of Trinidad, B.W.I.
U.S. Nat. Mus. Bull. 215, part. 1, p. 83-96, pl. 21

19 - BECKMANN J.P. (1953) -
Die Foraminiferen der Oceanic Formation (Eocaen-Oligocaen) von Barbados, Kl. Antillen.
Eclogae Geol. Helv., vol. 46, p. 301-412, pl. 16-30.

20 - BERGER W.H. (1971) -
Sedimentation of planktonic Foraminifera.
Marine Geol., 11, Elsevier Publ. Comp. Amsterdam, p. 325-358.

21 - BERGGREN W.A. (1972) -
A Cenozoic time-scale - some implication for regional geology and paleobiogeography.
Lethaia, vol. 5, p. 195-205. Oslo.

22 - BERGGREN W.A. (1960) -
Some planktonic Foraminifera from the lower Eocene (Yprésien of Denmark and northwestern Germany).
Stockholm Contrib. in Geol., vol. V, p. 41-108, 13 pl.

23 - BERGGREN W.A., OLSSON R.K., REYMENT R.A. (1967) -
Origin and development of the foraminiferal genus Pseudohastigerina BANNER and BLOW, 1959.
Micropaleontology, vol. 13, n° 3, p. 265-288.

24 - BERMUDEZ P.J. (1949) -
Tertiary smaller Foraminifera of the Dominican Republic.
Cushman Lab. Foram. Res., sp. publ., n° 25, p. , 26 pl.

25 - BERMUDEZ P.J., GAMEZ H.A. (1966) -
Estudio paleontologico de una seccion del Eoceno, grupo punta carnero de la isla Margarita Venezuela.
Mem. Soc. Sci. Nat. La Salle, t. XXVI, n° 75, p. 205-249.

26 - BESEME P. (1962) -
Contributions à l'étude géologique du Danien et du Paléocène en Aquitaine occidentale.
Thèse 3e cycle, Sciences, Paris.

27 - BESSON L., DERES F., PAIRIS J.L. (1972) -
Age des "Grès d'Annot" au Nord de la localité-type (Alpes-de-Haute-Provence).
C.R. Acad. Sci. Paris, t. 275, n° 23, p. 2603-2606.

28 - BESSON L., GROSSO F., PAIRIS J.L., USELLE J.P. (1970) -
Etudes préliminaires sur les microfaunes et les carbonates des "Marnes bleues" du synclinal d'Annot (Basses-Alpes).
Géol. Alpine, t. 46, p. 29-42.

29 - BESSON L., PAIRIS J.L., PORTHAULT B. (1972) -
Contribution géochimique à l'étude du Tertiaire du synclinal d'Annot (Alpes-de-Haute-Provence).
Géol. Alpine, t. 48, p. 21-33.

30 - BIEDA F. (1963) -
Larger Foraminifera of the Tatra-Eocene.
Inst. Geol. Prace, Warszawa, t. XXXVII, p. 157-215, 26 pl.

31 - BLANC J. (1972) -
Initiation à la Géologie marine.
Doin ed., 81 p., 14 pl.

32 - BLONDEAU A. (1971) -
Esquisse phyllogenétique des Nummulites.
C.R.Acad. Sci. Paris, t. 272, p. 377-380.

33 - BLONDEAU A. (1968) -
Révision des Nummulites et des Assilines des Alpes-Maritimes.
Colloque sur l'Eocène, Paris, mai 1968, mém. B.R.G.M., n° 58, p. 27-55.

34 - BLONDEAU A., BODELLE J., CAMPREDON R., LANTEAUME M., NEUMAN M. (1968) -
Répartition stratigraphique des grands Foraminifères de l'Eocène dans les Alpes-Maritimes (franco-italiennes) et les Basses-Alpes.
Colloque sur l'Eocène, Paris mai 1968, mém. B.R.G.M., n° 58, p. 13-26.

35 - BLONDEAU A., CAMPREDON R. (1966) -
Observations sur les calcaires à Nummulites de la région d'Entrevaux (Basses-Alpes). Implications paléogéographiques.
C.R. som. Soc. Géol. Fr., t. 8, fasc. 4, p. 156-

36 - BLOW W.H. (1970) -
Validity of biostratigraphic correlations based on the Globigerinacea.
Micropaleontology, vol. 13, n° 3, p. 257-268.

37 - BLOW W.H. (1969) -
Late middle Eocene to recent planktonic biostratigraphy.
Proceedings of the first inter. conf. on planktonic microfossils, Geneva 1967, vol. 1, p. 199-422, 54 pl.

38 - BODELLE J. (1971) -
Les formations nummulitiques de l'arc de Castellane.
Thèse, Nice, 582 p.

39 - BODELLE J., CAMPREDON R., CHATEAUNEUF J.J., LEZAUD L. (1969) -
Le Nummulitique des Scaffarels (France, Basses-Alpes). Utilisation simultanée de plusieurs méthodes d'étude stratigraphiques et géochimiques.
Colloque sur l'Eocène, Budapest.

40 - BODELLE J., CAMPREDON R., LE CALVEZ Y. (1968) -
Données préliminaires sur la microstratigraphie des marnes éocènes dans les Alpes-Maritimes (franco-italiennes) et les Basses-Alpes.
Bull. B.R.G.M. Fr., 2e série, s. 1, n° 2, p. 87-96.

41 - BOLLI H.M. (1972) -
The genus Globigerinatheka BRONNIMANN.
Journ. Foram. Res., vol. 2, n° 3, p. 109-136.

42 - BOLLI H.M. (1966) -
Zonation of Cretaceous to Pliocene marine sediments based on planktonic Foraminifera.
Bol. Inf. Venez. Geol. min. y petrol., vol. 9, n° 1, p. 3-32.

43 - BOLLI H.M. (1957) -
Planktonic Foraminifera from the Eocene Navet and San Fernando formations of Trinidad, B.W.I.
U.S. Nat. Mus. Bull., 215, part 1, p. 155-172, pl. 35-39.

44 - BOLLI H.M. (1957) -
The genera Globigerina and Globorotalia in the Paleocene-lower Eocene
Lizard Spring formation of Trinidad, B.W.I.
U.S. Nat. Mus., Bull. 125, part 1, p. 61-82, pl. 15-20

45 - BOLLI H.M., LOEBLICH A.R., TAPPAN H. (1957) -
Planktonic foraminiferal families Hantkeninidae, Orbulinidae, Globorotaliidae and Globotruncanidae.
U.S. Nat. Mus., Bull. 215, part 1, p. 3-50, pl. 1-11.

46 - BONNEFOUS J., KÜBLER B. (1968) -
Etudes stratigraphiques et géochimiques d'échantillons de terrains jurassiques de Tunisie (région nord est).
Bull. Centre Rech. Pau - S.N.P.A., vol. 2, n° 2, p. 283-319.

47 - BOULOUARD C. (1971) -
Résultats de la campagne de felxo-électro-carottage en Méditerranée nord-occidentale 1970 : examen optique de la matière organique figurée.
Publ. C.N.E.X.O., sér. : résultats des campagnes en mer, n° 02, p. 371-374.

48 - BOULOUARD C., DELAUZE H. (1966) -
Analyse palynoplanctologique de sédiments prélevés par le bathyscaphe "Archimède" dans la fosse du Japon.
Marine Geol., 4, Elsevier Publ. Cy. Amsterdam, p. 461-466.

49 - BOUSSAC J. (1912) -
Etudes stratigraphiques sur le Nummulitique alpin.
Thèse, Paris, Mém. Serv. Carte Géol. Fr., 662 p.

50 - BRONNIMANN P. (1950) -
The genus Hantkenina CUSHMAN in Trinidad and Barbados, B.W.I.
Journ. of Paleon., vol. 24, n° 4, p. 397-420.

51 - BROOKS J., GRANT P.R., MUIR M.D., VAN GYZAL P., SHAW G. (1971) -
Sporopollenin
Acad. Press, London, New-York.

52 - CAMPREDON R. (1972) -
Les formations paléogènes des Alpes-Maritimes franco-italiennes.
Thèse, Nice, 539p

53 - CAMPREDON R., TOUMARKINE M. (1972) -
Les formations pélogènes du synclinal de Pujet-Théniers - Entrevaux (Basses-Alpes - France).
Rev. Micropal., vol. 15, n° 3, p. 134-148.

54 - CARBONNEL G., MOULLADE M., PORTHAULT B. (1965) -
Utilisation de l'azote liquide et des mouillants pour l'extraction et la préparation des microfossiles.
C.R. Acad. Sci. Paris, t. 261, p. 2383-2386.

55 - CASTELLARIN A., CITA M.B. (1969) -
La coupe priabonienne de Nago (Prov. Trento) et la limite Eocène-Oligocène.
Coll. sur l'Eocène, Paris, mai 1968, mém. B.R.G.M., n° 69, vol. III, p. 93-117.

56 - CASTELLARIN A., CITA M.B. (1969) -
Etude de quelques coupes priaboniennes dans le monte Baldo (Prov. Verona et Trento, Italie) et discussion des limites de l'étage.
Coll. sur l'Eocène, Paris, mai 1968, mém. B.R.G.M., n° 69, vol. III, p. 119-143.

57 - CAVELIER C. (1969) -
La limite "Eocène-Oligocène".
Coll. sur l'Eocène, Paris, mai 1968, mém. B.R.G.M., n° 69, vol. III, p. 432-437.

58 - CHAMBRE SYNDICALE DE LA RECHERCHE ET DE LA PRODUCTION DU PETROLE ET DU GAZ NATUREL (1964) -
Techniques de laboratoire en géologie pétrolière.
Ed. Technip., 200 p.

59 - CITA M.B. (1970)
Observations sur quelques aspects paléoécologiques de sondages subocéaniques effectués dans l'Atlantique nord.
Rev. de Micropal., vol. 12, n° 4, p. 187-201.

60 - COLOM G. (1954) -
Estudio de las biozonas con Foraminiferos del Terciaro de Alicante.
Bol. del Inst. Geol. y Min. de Espana, t. LXVI, 279 p., 35 pl.

61 - COMBAZ A. (1964) -
Les Palynofaciès.
Rev. de Micropal., vol. 7, n° 3, p. 205-218.

62 - CONNAN J., GIRAUD A. (1968) -
Caractérisation de la matière organique de quelques sédiments marins récents.
Bull. Centre Rech. Pau - S.B.P.A., vol. 2, n° 1, p. 117-130.

63 - CORDEY W.G., BERGGREN W.A., OLSSON R.K. (1970) -
Phylogenetic trends in the planktonic foraminiferal genus
Pseudohastigerina BANNER and BLOW 1959.
Micropeleontology, vol. 16, n° 2, p. 235-242.

64 - CORREIA M. (1969) -
Contribution à la recherche de zones favorables à la genèse du pétrole par l'observation microscopique de la matière organique figurée.
Rev. Inst. Fr. Pétrol. et Ann. des Comb. Liq., vol. XXIV, n° 12, p. 1417-1454.

65 - COUCH E.L., GRIM R.E. (1968) -
Boron fixation by illites.
Clays and clay minerals, 16, p. 249-256.

66 - CUSHMAN J.A. (1959) -
Foraminifera, their classification and economic use.
Ed. Harvard Univ. Press, Cambridge, Massachusetts, 478 p., 55 pl.

67 - DANGEARD L., RIOULT M. (1968) -
Sur quelques apports récents de l'Océanographie à la Géologie.
Rev. Géog. phys. Géol. dyn., (2), vol. X, fasc. 4, p. 311-328.

68 - DEBOURLE A. (1969) -
Essai d'interprétation paléoécologique d'une faune de Bryozoaires.
Rapp. int. C.R.P. Pau - S.N.P.A., inéd., p. 1-4.

69 - DELFAUD J., GAUTHIER J. (1968) -
Contribution à la connaissance de l'environnement de dépôts carbonatés de plate-forme. Caractères géochimiques et sédimentologiques du Jurassique nord-aquitain.
Bull. Centre Rech. Pau S.N.P.A., Vol. 2, n°2, p 213-484.

70 - DELFAUD J., GAUTHIER J. (1967) -
Evolution des milieux de sédimentation au passage Jurassique-Crétacé du forage de Lacq 104 (Aquitaine - France, Sud Ouest).
Bull. Centre Rech. Pau - S.N.P.A., vol. 1, n° 1, p. 77-89.

71 - DIENI I., PROTO-DECIMA F. (1964) -
Cribrohantkenina ed altri Hantkeninidae nell'Eocene superiore di Castelnuovo (Colli Euganei).
Riv. Ital. Paleon., Milano, vol. LXX, n° 3, p. 555-592.

72 - DURAND S. (1969) -
Recherches palynologiques et algologiques dans l'Eocène.
Coll. sur l'Eocène, Paris mai 1968, mém. B.R.G.M., n° 69, vol. III, p. 337-340.

73 - EAMES F.E., BANNER F.T., BLOW W.H., CLARKE W.J., (1962) -
Fundamentals of mid-tertiary stratigraphical correlation.
Univ. Press, Cambridge, 163 p., 17 pl.

74 - EL KHOLY Y. (1972) -
Stratigraphie et sédimentologie du Crétacé supérieur entre le Var et la Bléone (Alpes-de-Haute-Provence).
Thèse, Lyon, 115 p., 51 pl.

75 - ELLIS B.F., MESSINA A.R.
Catalogue of Foraminifera.
Amer. Mus. of Nat. Hist., New-York.

76 - ESQUEVIN J. (1967) -
Séquences géochimiques dans l'Aptien et l'Albien du forage de Lacq 301 (Aquitaine - France, Sud Ouest).
Bull. Centre Rech. Pau - S.N.P.A., vol. 1, n° 1, p. 91-97.

77 - ESPITALIE J., SIGAL J. (1961) -
Microstratigraphie des "Marnes Bleues" des bassins tertiaires des Alpes méridionales. Le genre Caucasina (Foraminifère).
Rev. Micropal., vol. 3, n° 4, p. 201-206.

78 - FONTES J.C. (1966) -
Intérêt en géologie d'une étude isotopique de l'évaporation. Cas de l'eau de mer.
C.R.Acad. Sci. Paris, t. 263, p. 1950-1953.

79 - FONTES J.C., FRITZ P., GAUTHIER J., KULBICKI G. (1967) -
Minéraux argileux, éléments traces et compositions isotopiques ($O^{18}$ / $O^{16}$ et $C^{13}$ / $C^{12}$) dans les formations gypsifères de l'Eocène et de l'Oligocène de Cormeilles-en-Parisis.
Bull. Centre Rech. Pau - S.N.P.A., vol. 1, n° 2, p. 315-366.

80 - FRERICHS W.E. (1970) -
Distributions and ecology of benthonic Foraminifera in the sediments of the Andaman sea.
Contrib. from the Cushman Found. for Foram. Res., vol. 21, part 4, p. 123-146.

81 - GAGNY C. (1964) -
Interprétation des laminites dans une série à turbidités du Culm des Vosges méridionales.
Bull. Soc. Géol. Fr., t. 7, vol. 6, p. 43-51.

82 - GAUTHIER J. (1967) -
Minéraux argileux et éléments traces du passage Bathonien-Callovien dans le Nord Est du bassin Parisien (France).
Bull. Centre Rech. Pau - S.N.P.A., vol. 1, n° 1, p. 111-124.

83 - GINSBURG L. (1964) -
Les régressions marines et le problème du renouvellement des faunes au cours des temps géologiques.
Bull. Soc. Géol. Fr., t. 7, vol. 6, p. 13-22.

84 - GLAÇON G. (1966) -
Foraminifères des dépôts actuels des côtes de Tunisie sud-orientale.
Naturalia Monspeliensis, sér. Géol. mém. 6, p. 1-270.

85 - GOHRBANDT K.H. (1967) -
Some new planktonic foraminiferal species from the austrian Eocene.
Micropaleontology, vol. 13, n° 3, p. 319-326.

86 - GUBLER Y., FLANDRIN J., SIGAL J. (1952) -
Sur l'âge des "Grès d'Annot" dans sa localité-type (Basses-Alpes).
C.R.Acad. Sci. Fr., t. 234, n° 12, p. 1 299-1 300.

87 - GULINCK M. (1969) -
Le passage Oligocène-Eocène dans le sondage de Kallo et le Nord de la Belgique.
Coll. sur l'Eocène, Paris, mai 1968, mém. B.R.G.M., n° 69, vol. 3, p. 193-195.

88 - GUTIERREZ DOMECH M.R. (1967) -
Nueva especie de Foraminifero planctonico del Eocene superior de la provincia de Matanzos, Cuba.
Inst. Nacional de Recurcos Hydraulicos, publ. esp., n° 3, 27 p., 3 pl.

89 - HAGN H., LINDENBERG H.G. (1969) -
Revision der von c.w. GUMBEL 1868 aus dem Eozän des Bayerischen alpenvorlandes beschriebenen planktonischen Foraminiferen.
Proceedings of the first intern. conf. on planktonic microfossils, Geneva 1967, vol. II, p. 229-249.

90 - HAY W.W. (1969) -
On defining boundaries between the Paleocene.
Coll. sur l'Eocene, Paris, mai 1968, mém. B.R.G.M., n° 69, vol. III, p. 197-200.

91 - IWUCHUKWU S. (1969) -
Etude sédimentologique du Grès d'Annot dans le synclinal tertiaire d'Annot.
D.E.S., Grenoble.

92 - JOYES R. (1957) -
Contributions à l'étude du Nummulitique entre Rouaine et le dôme de Barrot.
D.E.S., Grenoble.

93 - KAFESCÏOGLU I.A. (1971) -
Specific diversity of planktonic Foraminifera on the continental shelves as a paleobathymetric tool.
Micropaleontology, vol. 17, n° 4, p. 455-470.

94 - KHALILOV D. (1956) -
O pelaguitcheskoï faoune Foraminifer paleoguenovikh otlojenï Azerbaïdjana.
Troudi, Instituta gueologui, Akademia Naouk Azerbaïdjanskoï S.S.R., t. XVII, p. 234-254.

95 - KRAEVA E. (1961) -
Foraminiferi verkhnoeotsenovikh ta oligotsenovikh vidkladiv pivnitchnovo krila pritchornomorskoï zapadini.
Vidavnitstro Akademiï Naouk Oukraïnskoï S.S.R., Kiiv, 95 p., 16 tab.

96 - KRAEVA E., ZERNETSKI B. (1969) -
Foraminiferi paleoguena Oukraini.
Paleontologuitcheskï spravotchnik, Akademia Naouk Oukrainskoï S.S.R., t. 3, p. 1-199, 76 pl.

97 - KRAUSKOPF K.B. (1956) -
Factors controlling the concentration of thirteen rare metals in sea water.
Geochim. cosmochim. Acta, 9, p. 1-32.

98 - KRUTZSCH (1957) -
Pollengruppen aus der oberkreide und dem Tertiar mittel Europas und ihre stratigraphische verteilung.
Zeitschriss für angewandte Geologie, Hert. 11-12, p. 509-548.

99 - KUBLER B. (1968) -
Evaluation quantitative du métamorphisme par la cristallinité de l'illite. Etat des progrès réalisés ces dernières années.
Bull. Centre Rech. Pau - S.N.P.A., vol. 2, n° 2, p. 385-397.

100 - KULBICKI G., RUMEAU J.L. (1969) -
Caractérisation géochimique des conditions d'oxydo-réduction dans une sédimentation marine carbonatée. Exemple de la Keg River formation (NW Alberta, Canada).
Bull. Centre Rech. Pau - S.N.P.A., vol. 3, n° 1, p. 155-166.

101 - KULBICKI G., RUMEAU J.L. (1967) -
Influence du milieu sur les teneurs en éléments traces de vases marines du golfe de Cascogne.
Bull. Centre Rech. Pau - S.N.P.A., vol. 1, n° 1, p. 125-141.

102 - KULBICKI G., SOURISSE C., CAZABAT V. (1968) -
Aspects actuels du traitement sur ordinateur des données géochimiques au C.R.P.
Bull. Centre Rech. Pau - S.N.P.A., vol. 2, n° 1, p. 191-212.

103 - KULBICKI G., SOURISSE C., BARADAT J. (1967) -
Détermination des teneurs en éléments traces dans les silicates par spectrométrie U V d'émission à lecture directe.
Bull. Centre Rech. Pau - S.N.P.A., vol. 1, n° 2, p. 437-452.

104 - LACROIX L. (1962) -
Etude sédimentologique et micropaléontologique du Lias supérieur de l'Auxois (Côte d'Or).
Thèse 3e cycle, Sci. Dijon.

105 - LAPPARENT A.F. de (1963) -
A propos des conglomérats anténummulitiques des Alpes de Haute-Provence.
Bull. Soc. Géol. Fr., 7, 8, p. 454-457.

106 - LE CALVEZ Y. (1970) -
Contributions à l'étude des Foraminifères paléogènes du bassin de Paris.
Cahiers de Paléon., Ed. du C.N.R.S., 326 p., 46 pl.

107 - LE CALVEZ Y., BOILLOT G. (1967) -
Etude des Foraminifères contenus dans les sédiments actuels de la Manche occidentale.
Rev. Géog. phys. Géol. dyn., ( 2 ), vol. IX, fasc. 5, p. 391-408.

108 - LINDENBERG H.G. (1969) -
Statistical notes on the variability of Globigerina eocaena GUMBEL 1868, from the Paleogene of the Bavarian Alps.
Proceedings of the first intern. conf. on planktonic microfossils, Geneva 1967, vol. II, p. 343-365.

109 - LOEBLICH A.R., TAPPAN H. (1964) -
Sarcodina chiefly "Thecamoebians" and Foraminifera.
Treatise on Invertebrate paleontology, part C, Protista 2, 900 p., 653 fig.

110 - LOEBLICH A.R. , TAPPAN H. (1957) -
Planktonic Foraminifera of Paleocene and early Eocene age from the Gulf and Atlantic coastal Plains.
U.S. Nat. Mus. Bull., 215, part 1, p. 173-198, 25 pl.

111 - LOMBARD A. (1956) -
Géologie sédimentaire. Les séries marines.
Ed. Masson, Paris.

112 - MAGNE A., ESPITALIE J. (1969) -
Un nouveau procédé de préparation pour la photographie des microfossiles dégagés.
Rev. Micropal., vol. 12, n° 1, p. 63-65.

113 - MAGNIEZ-JANIN F. (1971) -
Les Foraminifères de l'Albien de l'Aube. Paléontologie, stratigraphie, écologie.
Thèse, Dijon.

114 - MARTINI E. (1970) -
Standard tertiary and quaternary calcareous Nannoplancton zonation.
Proc. II, Planctonic Conf. Roma, vol. 2, p. 739-785.

115 - MARTINI E., RITZKOWSKI S. (1969) -
Die Grenze Eozän/Oligozän in der Typus-Region des unterologozäns.
Coll. sur l'Eocène, Paris, mai 1968, mém. B.R.G.M., n° 69, vol. III, p. 233-237.

116 - MÉSZAROS N. (1969) -
Les mouvements de l'écorce pendant l'Eocène, en Europe centrale et du Sud Est.
Coll. sur l'Eocène, Paris, mai 1968, mém. B.R.G.M., n° 69, vol. III, p. 240-247.

117 - MILLOT G. (1960) -
Géologie des argiles.
Ed. Masson, Paris.

118 - MONTANARO GALLITELLI E. (1957) -
A revision of the foraminiferal family Heterohelicidae.
U.S. Nat. Mus., Bull. 215, Part 1, p. 133-154, pl. 31-34.

119 - OERTLI H.J. (1970) -
Techniques photographiques dans les laboratoires de Géologie pétrolière.
Rev. Inst. Fr. Pétrole, XXV, n° 10, p. 1163-1174.

120 - OERTLI H.J. (1967) -
Essai d'interprétation écologique des associations d'Ostracodes de l'Eocène supérieur et de l'Oligocène de Cormeilles-en-Parisis.
Bull. Centre Rech. Pau - S.N.P.A., vol. 1, n° 2, p. 367-373.

121 - OTTMANN F. (1968) -
L'étude des problèmes estuariens.
Rev. Géog. phys. Géol. dyn. ( 2 ), vol. X, fasc. 4, p. 329-353.

122 - PAIRIS J.L. (1971) -
Effets de la tectonique en "coins" sur la marge orientale du synclinal d'Annot (Alpes-de-Haute-Provence).
Géol. Alpine, t. 47, p. 215-222.

123 - PEREIRA J. (1969) -
Etude sédimentologique du calcaire nummulitique du synclinal tertiaire d'Annot.
D.E.S., Grenoble.

124 - PERES J.M. (1965) -
Réflexions sur les rapports entre l'écologie et la paléontologie marine.
Paleogeo., Paleoclim., Paleoeco. 1, Elsevier Publ. Comp. Amsterdam, p. 51-68.

125 - PICCOLI G., MASSARI de GASPERI G. (1968) -
Les Mollusques du stratotype du Priabonien et leur signification paléoécologique.
Coll. sur l'Eocène, Paris, mai 1968, mém. B.R.G.M., n° 58, p. 245-252.

126 - PROTO-DECIMA F., BOLLI H. (1970) -
Evolution and variability of Orbulinoides beckmanni (SAITO).
Eclogae Geol. Helv., vol. 63, n° 3, p. 883-905.

127 - ROCHE E. (1970) -
Flores du Paléocène et Eocène inférieur des bassins sédimentaires anglais, belge, et parisien. Intérêts climatiques et phytogéographie.
Assoc. Nat. des prof. de Bio. de Belgique., n° 3

128 - ROTH P.H. (1970) -
Oligocene calcareous Nannoplankton - Biostratigraphy.
Eclogae Geol. Helv., vol. 63, n° 3, p. 799-881.

129 - ROTH P.H. (1968) -
Calcareous Nannoplankton zonation of Oligocene sections in alabama (U.S.A.), on the islande of Trinidad Barbados (W.I.) and the Blake Plateau (E Coast of Florida U.S.A.).
Eclogae Geol. Helv., vol. 61, n° 2, p. 459-465.

130 - RUMEAU J.L., VANNEY J.R. (1969) -
Caractères géochimiques et origine des sédiments récents du plateau continental atlantique dans le Nord du golfe de Gascogne.
Bull. Centre Rech. Pau - S.N.P.A., vol. 3, n° 1, p. 125-146.

131 - RUMEAU J.L., VANNEY J.R. (1968) -
Eléments-traces de vases marines du plateau continental atlantique au Sud-Ouest du massif Armoricain (Grande Vasière).
Bull. Centre Rech. Pau - S.N.P.A., vol. 2, n° 1, p. 69-81.

132 - SAHORES J. (1968) -
Dosage des éléments majeurs des roches par spectrofluorescence X.
Bull. Centre Rech., Pau - S.N.P.A., vol. 2, n° 1, p. 137-162.

133 - SELLI R. (1944) -
Una microfauna eocenica inclusa nelle argile scagliose del Passo dell'Abbadessa (Ozzano, Bologna).
Giornale du Geologia, vol. XVII, p. 33-91.

134 - SIGAL J. (1965) -
Palynofaciès : un néologisme illogique et superflu.
Rev. Micropal., vol, 8, n° 1, p. 59-60.

135 - SITTLER C., MILLOT G. (1964) -
Les climats du Paléogène français reconstitués par les argiles néoformées et les microflores.
Geol. Rdsch., 54, p. 333-343.

136 - STANLEY D.J. (1961) -
Etude sédimentologique des Grès d'Annot et leurs équivalents latéraux.
Inst. Fr. Pétro., réf. 6821, 158 p.

137 - STANTCHEVA M. ( ) -
Eotsenski Foraminiferi of Plevensko.
Troudovie vèrkhou geologiiata na Elgariia, Paleontologiia, kn I, p. 321-359.

138 - STEVAUX J. (1967) -
Etude géochimique et sédimentologique des Fermoy séries de l'Eromanga Sub-Basin (Queensland, Australie).
Bull. Centre Rech., Pau - S.N.P.A., vol. 1, n° 1, p. 99-109.

139 - THEYER F. (1971) -
Size-depth variation in Cyclammina cancellata BRADY, Peru; Chile Trench Area.
Antarctic Research ser., vol. 15, Antarctic Oceanology I, p. 309-313.

140 - TODD R. (1970) -
Smaller Foraminifera of late Eocene age from Eua, Tonga.
Geol. surv. prof. paper 640 A, p. 1-21, pl. 1-8.

141 - TOLDERLUND D.S., BE A.W. (1971) -
Seasonal distribution of planktonic Foraminifera in the western North Atlantic.
Micropaleontology, vol. 17, n° 3, p. 397-329.

142 - TOUMARKINE M., BOLLI H.M. (1970) -
Evolution de Globorotalia cerroazulensis ( COLE ) dans l'Eocène moyen et supérieur de Possagno (Italie).
Rev. Micropal., vol. 13, n° 3, p. 131-145.

143 - TSCHUDY R.H., VAN LOENEN S.D. (1970) -
Illustrations of Plant microfossils from the Yazoo clay (Jackson group, upper Eocene) Mississipi.
Geol. surv. prof. paper 643 E, p. 1-3, pl. 1-5.

144 - UNGARO S. (1969) -
Etude micropaléontologique et stratigraphique de l'Eocène supérieur (Priabonien) de Mossano (Colli Berici).
Coll. sur l'Eocène, Paris, mai 1968, mém. B.R.G.M., n° 69, vol. III, p. 267-281.

145 - VERGNAUD-GRAZZINI C. (1968) -
Problèmes posés par l'étude géodynamique des microfaunes actuelles et son application à la stratigraphie, la paléoécologie, la paléoclimatologie et la paléothermométrie.
Rev. Geog. phys. Géol. dyn., ( 2 ) , vol. X, fasc. 4, p. 397-406.

146 - VERNIORY R. (1956) -
Extraction des microfossiles, une nouvelle méthode rapide.
Arch. Sc. Genève, 9, n° 4, p. 487-492.

147 - WALTON W.R. (1964) -
Recent foraminiferal ecology and paleoecology.
Approaches to Paleoeco., Ed. Imbrie Newell New-York, p. 151-237.

148 - YAPAUDJIAN L. (1972) -
Une approche actualiste en géologie sédimentaire (quelques données d'interprétation des séquences de plate-forme).
Coll. d'Orsay 1970, Fr., mém. B.R.G.M., n° 77, t. 2, p. 715-744.

Vu,
Grenoble le,
Le Directeur de la thèse

J. DEBELMAS

Vu, et permis d'imprimer
Grenoble le,
Le Président de l'Université
Scientifique et Médicale

M. SOUTIF